

Puheäänten hermostollisen erottelun yhteys perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin
ja varhaisiin kielellisiin taitoihin

Heidi Maria Juntunen
Pro gradu -tutkielma
Psykologia
Lääketieteellinen tiedekunta
Helsingin yliopisto
Tammikuu 2020
Ohjaajat: Linda Kailaheimo-Lönnqvist &
Teija Kujala

Tutkielma liittyy Luki- ja kielihäiriöiden
hermostollinen perusta, biomarkkerit
ja kuntoutuvuus -tutkimushankkeeseen



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Lääketieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Psykologian maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Heidi Maria Juntunen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Puheäänten hermostollisen erottelun yhteys perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin ja varhaisiin kielellisiin taitoihin			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Psykologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year Tammikuu 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 48
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p><i>Tavoitteet:</i> Lukivaikeus on lukemisen ja kirjoittamisen erityisvaikeus, jolla on neurobiologinen ja perinnöllinen tausta. Lukivaikeuteen liittyy kielen kehityksen viivettä sekä fonologisen prosessoinnin heikkoutta, mikä voi selittyä puheen havaitsemisen poikkeavuudella. Lukivaikeuden ennaltaehkäisy voisikin olla mahdollista, jos perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin liittyvä puheen havaitsemisen poikkeavuus voidaan havaita jo varhaislapsuudessa. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, onko puheäänten erottelua ilmentävä aivojen poikkeavuusvaste (<i>mismatch response</i>, MMR; <i>mismatch negativity</i>, MMN) epätyypillinen lukivaikeusriskissä olevilla lapsilla. Lisäksi tarkasteltiin, selittävätkö MMR-vasteet varhaisten kielellisten taitojen vaihtelua.</p> <p><i>Menetelmät:</i> 28 riskiryhmän ja 26 verrokkiryhmän kaksivuotiaista lasta osallistuivat aivosähkökäyrämittaukseen sekä varhaisten kielellisten taitojen arviointiin. MMR-vasteiden voimakkuus mitattiin vokaalin pituuden, äänenkorkeuden ja vokaalityypin muutokselle ja ryhmävertailut tehtiin monimuuttujavarianssianalyysillä. Regressioanalyysillä selvitettiin, selittävätkö MMR-vasteet vaihtelua puheen ymmärtämisessä, tuotossa ja sanavarastossa.</p> <p><i>Tulokset ja johtopäätökset:</i> Tilastollisesti merkitsevä MMR syntyi kaikille tarkastelluille ärsykepiirteille. Ryhmien välillä ei ollut eroa MMR-vasteiden voimakkuudessa, joten riski- ja verrokkiryhmän lapset näyttivät erottelvan puheääniä yhtä hyvin automaattisen tiedonkäsittelyn tasolla. MMR vokaalin keston ja vokaalityypin muutokselle selittivät kielellisiä taitoja merkitsevästi toisin kuin MMR äänenkorkeuden muutokselle, joten erityisesti foneemisten puheen piirteiden erottelu vaikuttaisi olevan yhteydessä kielen kehitykseen. Yhteydet MMR-vasteiden ja kielellisten taitojen välillä olivat erilaiset riski- ja verrokkiryhmässä: verrokkiryhmässä MMR vokaalin keston muutokselle selitti puheen tuottoa ja ymmärtämistä, kun taas riskiryhmässä MMR vokaalityypin muutokselle selitti puheen ymmärtämistä. Pidemmässä seurannassa on tärkeää selvittää, ovatko varhaislapsuuden MMR-vasteet yhteydessä myös fonologisen prosessoinnin sekä lukemisen ja kirjoittamisen taitoihin kouluiässä.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords lukivaikeusriski, aivosähkökäyrä, poikkeavuusnegatiivisuus, MMR, puheen havaitseminen, kielen kehitys			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Linda Kailaheimo-Lönnqvist ja Teija Kujala			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet)			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Tutkielma liittyy Luki- ja kielihäiriöiden hermostollinen perusta, biomarkerit ja kuntoutuvuus - tutkimushankkeeseen			



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Medicine		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Master's Programme in Psychology	
Tekijä – Författare – Author Heidi Maria Juntunen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Neural discrimination of speech sounds and its relationship to early language skills in children with a familial risk of dyslexia			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Psychology			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's thesis		Aika – Datum – Month and year January 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 48
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p><i>Objectives:</i> Dyslexia is a specific reading disorder with a neurobiological and heritable background. Delayed language development and deficient phonological processing have been associated with dyslexia. These linguistic difficulties may relate to atypical speech perception already in early childhood, which could offer a basis for an early identification of dyslexia risk and the development of interventions. In the current study, neural discrimination of speech features was studied in children with a familial risk of dyslexia using the mismatch response (MMR; mismatch negativity, MMN). The aim of the current study was to examine if MMR is atypical in children at risk of dyslexia, and if MMN responses are associated with early language abilities.</p> <p><i>Methods:</i> 28 children with familial risk of dyslexia and 26 control children participated in EEG recordings and assessment of language abilities at two years of age. MMR amplitudes were recorded for discrimination of vowel duration, pitch, and vowel identity, and groups were compared using MANOVA. Linear regression was applied to examine if MMR responses explained the variation in speech comprehension, production, and vocabulary.</p> <p><i>Results and Conclusions:</i> Statistically significant MMRs were observed for all features of speech and no group differences were found in MMR amplitudes. This indicates that both groups could discriminate sounds equally well at the automatic level of information processing. MMRs to vowel duration and identity were associated with language comprehension and production, unlike MMR to pitch change. Thus, the perception of phonemic changes seems especially relevant to language development. However, the relationship between MMRs and linguistic abilities differed between the two groups: MMR to vowel duration explained comprehension and production in the control group, whereas MMR to vowel identity explained production in the risk group. A longer follow-up time is needed to examine if MMRs also predict phonological processing and literacy skills in school age.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords dyslexia risk, electroencephalography, mismatch negativity, mismatch response, speech perception, language development			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Linda Kailaheimo-Lönnqvist and Teija Kujala			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet)			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information This thesis is associated with <i>The neural basis, biomarkers, and intervention of reading and language deficits</i> project.			

Sisällys

1. Johdanto.....	1
1.1 Lukivaikeus.....	1
1.2 Herätevasteen MMN-komponentti kuulohavainnon tutkimuksessa	4
1.2.1 MMN-komponentti automaattisen kuulohavainnon erottelun heijastajana	4
1.2.2 MMR-komponentin kypsyminen varhaislapsuudessa	6
1.3 MMN- ja MMR-komponentti lukivaikeudessa	8
1.3.1 MMN-komponentti aikuisilla ja lapsilla, joilla on lukivaikeus.....	8
1.3.2 MMR-komponentin yhteys perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin	9
1.4 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit.....	11
2. Menetelmät.....	12
2.1 Osallistujat.....	12
2.1.1 Rekrytointi.....	12
2.1.2 Seurantavaihe 2 v 4 kk iässä.....	13
2.2 Kognitiivisten taitojen arviointi.....	14
2.2.1 Tutkimustilanne	14
2.2.2 Puheen ymmärtämisen ja tuoton arviointi.....	14
2.2.3 Sanavaraston arviointi.....	15
2.2.4 Yleisen taitotason kontrollointi.....	15
2.3 EEG-mittaus	16
2.3.1 Ärsykkeet ja koeasetelma	16
2.3.2 Mittaustilanne ja -laitteisto	17
2.3.3 EEG-aineiston alkukäsittely.....	18
2.3.4 Komponenttien määrittäminen.....	19
2.4 Tilastolliset analyysit	22
3. Tulokset.....	24
3.1 Keskeiset taustatekijät ja kognitiiviset taidot	24
3.2 MMR-komponenttien merkitsevyys ja ryhmäerot	25
3.3 MMR kielellisten kykyjen vaihtelun selittäjinä	26
4. Pohdinta.....	33
4.1 MMR-komponentit.....	33
4.2 MMR-komponenttien yhteys kielellisiin taitoihin	35
4.3 Tutkimuksen luotettavuus ja heikkoudet	37
4.4 Johtopäätökset.....	39
Lähteet.....	40

1. Johdanto

Kehityksellisellä lukivaikeudella tarkoitetaan lukemisen ja kirjoittamisen erityisvaikeutta, joka ei selity asianmukaisen opetuksen puutteella, laaja-alaisemmilla kognitiivisen kehityksen vaikeuksilla tai selkeällä neurologisella tai aistitoimintoihin liittyvällä syyllä (Vellutino, Fletcher, Snowling, & Scanlon, 2004). Lukivaikeus on mahdollista diagnosoida vasta kouluiän alussa, kun lukemaan oppimisessa ilmenee merkittävää vaikeutta. Lukivaikeuden tausta on monitekijäisesti periytyvä ja periytyvyysasteeksi on arvioitu 30–70 % (Scerri & Schulte-Körne, 2010). Tutkimalla perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin liittyvää varhaista kehitystä voidaan tunnistaa sellaisia lukivaikeudelle altistavia tekijöitä, joiden avulla ennaltaehkäisevä interventio olisi mahdollista kohdistaa oikeille lapsille jo ennen luki-taitojen opetuksen alkamista. Altistavien tekijöiden tunnistamista vaikeuttaa kuitenkin pienten lasten taitojen arviointiin liittyvät epävarmuustekijät, kuten työskentelykykyyn merkittävästi vaikuttava tarkkaavuuden ja itsesäätelyn kehityksen keskeneräisyys. Sen sijaan aivojen sähkökäyrämittaus ja esitettyihin ärsykkeisiin liittyvät herätevasteet mahdollistavat puheen havaitsemisen arvioimisen jo varhaislapsuudessa niin, ettei tutkittavalta edellytetä aktiivista osallistumista tai tarkkaavuuden kohdentamista työskentelyyn (Thierry, 2005).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on herätevasteiden avulla selvittää, liittyykö perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin tyypillisestä poikkeavaa puheäänten erottelua kahden vuoden iässä. Lisäksi selvitetään, selittävätkö herätevasteet vaihtelua varhaisissa kielellisissä taidoissa ja onko tämä yhteys samanlainen lapsilla, joilla on tai ei ole perhetaustaista lukivaikeusriskiä.

1.1 Lukivaikeus

Lukivaikeus käsitteenä viittaa sekä lukemisen että kirjoittamisen erityisvaikeuteen. Vaikeus voi esiintyä yksistään lukutaidossa (engl. *dyslexia*) tai kirjoitustaidossa (engl. *dysgraphia*) ja Suomessa käytetyssä diagnoosiluokituksessa (ICD-10; WHO, 2004) häiriöt ovatkin erillisiä oppimiskyvyn häiriöitä. Tässä tutkimuksessa termillä lukivaikeus viitataan nimenomaan lukemisen erityisvaikeuteen, johon voi liittyä myös kirjoittamisen vaikeutta.

Oppimisvaikeuksien väestötason esiintymistä arvioivissa tutkimuksissa merkittävää erityisvaikeutta (yli 1 keskihajonta) on arvioitu olevan lukutaidossa 6–8 %:lla, kirjoitustaidossa 7–9 %:lla ja samanaikaisesti molemmissa taidoissa 4–7 %:lla alakouluikäisistä eurooppalaisista lapsista (Landerl & Moll, 2010; Moll ym., 2014).

Lukivaikeus kulkee suvussa ja lapsen lukivaikeus on 1.7–2.9 kertaa todennäköisempi perheissä, joissa toisella vanhemmista on aikuisällä lukivaikeus (Gilger, Hanbuth, Smith & Pennington, 1996). Lukivaikeuden ilmiön vaihtelusta 30–70 % selittyy geneettisellä vaihtelulla ja lukivaikeuteen on yhdistetty useita geenejä, joista monella on keskeinen vaikutus keskushermostoon esimerkiksi alkionkehityksessä (Scerri & Schulte-Körne, 2010). Lukivaikeuteen onkin johdonmukaisesti liitetty epätavallisia rakenteita erityisesti isoaivojen temporo-parietaalisilla, okkipitaalilohkon mediaalisilla ja alemman frontaalipoimun alueilla sekä pikkuaivojen etu- ja takalohkoissa (Eckert, 2004).

Lukivaikeuden fonologisen teorian mukaan lukemisen erityisvaikeus on seurausta puheen havaitsemiseen liittyvän fonologisen prosessoinnin heikkoudesta (Ramus, 2003). Lukemisen kannalta keskeisimmät fonologisen prosessoinnin taidot ovat fonologinen tietoisuus, kielellinen työmuisti ja nopea nimeäminen (Wimmer & Schurz, 2010), joista viimeinen mielletään joskus myös omaksi, fonologisesta prosessoinnista erilliseksi toiminnokseen (Norton & Wolf, 2012). Fonologinen tietoisuus viittaa tietoiseen ymmärrykseen siitä, että sanat koostuvat äänneistä sekä kykyyn manipuloida sanojen äännerakennetta. Nopea nimeäminen (engl. *rapid automatized naming*, RAN) viittaa tutujen sanojen mieleen palautuksen ja tuottamisen nopeuteen. Fonologisen tietoisuuden merkitys lukutaidon taustalla on keskeisin aloittelevalla lukijalla, kun lukeminen tapahtuu kirjain-äännevastaavuuksia muuntaen, kun taas nopean nimeämisen rooli kasvaa harjaantumisen myötä, kun edistyneempi lukija tunnistaa kokonaisia sanoja (Vaessen ym., 2010; Vaessen & Blomert, 2010). On esitetty, että lukivaikeuteen voi liittyä heikkoutta joko toisessa näistä taidoista tai molemmissa (Wimmer, Mayringer & Landerl, 2000), ja lukemisen vaikeus on usein huomattavampi silloin, kun heikkoutta on molemmissa taidoissa (Wolf ym., 2002). Fonologisen prosessoinnin taitojen merkitys vaihtelee myös äidinkielen ortografisen säännöllisyyden mukaan: Suomen kielen kaltaisissa ortografisesti säännöllisissä kielissä, joissa kirjaimet vastaavat johdonmukaisesti tiettyjä äänneitä, nopean nimeämisen merkitys on epäsäännöllisiä kieliä suurempi (Wimmer & Schurz, 2010). Ortografisesti säännöllisissä kielissä lukemisen vaikeus näyttäytyykin tavallisimmin sanantunnistuksen sujumattomuudesta johtuvana lukemisen hitautena eikä niinkään kirjain-äännevastaavuuksien epävarmasta hallinnasta johtuvana virhealttiutena (Wimmer ym., 2000).

Fonologisen prosessoinnin lisäksi lukivaikeuteen on liitetty muitakin kielellisen kehityksen poikkeavuuksia, minkä vuoksi on myös kyseenalaistettu, onko lukivaikeus todella erillinen

ilmiö, vai sijoittuuko se pikemminkin samalle jatkumolle kehityksellisen kielihäiriön (engl. *developmental language disorder*, DLD) kanssa (Bishop & Snowling, 2004). Esimerkiksi suomalaisessa tutkimuksessa seurattiin perhetaustaisessa lukivaikeusriskissä olevia sekä verrokkilapsia syntymästä toisen vuosiluokan loppuun (Torppa, Lyytinen, Erskine, Eklund & Lyytinen, 2010). Lapsilla, joiden lukutaito oli heikko yhdeksänvuotiaana, oli sujuvasti lukeviin verrattuna heikompia puheen ymmärtämisen ja tuoton taitoja 2–6-vuotiaana efektikoon vaihdellessa pienestä keskikokoiseen. Toisessa samaan seurantahankkeeseen liittyvässä tutkimuksessa havaittiin, että varhaiset kielelliset taidot ennustavat fonologisen prosessoinnin taitoja 3.5-vuotiailla lapsilla (Puolakanaho, Poikkeus, Ahonen, Tolvanen & Lyytinen, 2004). Erityisesti puheen tuoton on osoitettu ennustavan teknistä lukutaitoa, mutta heikommin kuin fonologisen prosessoinnin taidot (Ekins & Schneider, 2006) ja näyttäisi siltä, että yleisen kielellisen kyvykkyyden yhteys lukutaitoon välittyy fonologisen prosessoinnin kautta (van Viersen ym., 2018). Edistyneemmillä lukijoilla puolestaan puheen ymmärtämisen ja tuoton taidot (Ekins & Schneider, 2006) sekä kielelliset päättelytaidot ja sanavarasto (van Viersen ym., 2018) ovat fonologisen prosessoinnin taitoja voimakkaammin yhteydessä luetun ymmärtämiseen.

Lukivaikeuteen liittyvän fonologisen prosessoinnin heikkouden ja muun kielellisen kehityksen lievän viiveen taustalla saattaa olla puheen havaitsemisen poikkeavuus. Lukivaikeusriskiin liittyvää puheen piirteiden havaitsemista on tutkittu behavioraalisilla arviointimenetelmillä sekä vauvoilla että leikki-ikäisillä lapsilla. Siinä missä isommilta lapsilta voidaan arviointitilanteessa odottaa aktiivista osallistumista (esimerkiksi vastausta nappia painamalla), hyödynnetään vauvojen tutkimuksessa epäsuoria menetelmiä, joissa vauva esimerkiksi katseen suuntaamisella osoittaa kuuntelevansa mieluummin tiettyä puheärsykettä kuin toista (engl. *preferential listening paradigm*). Aiemmin mainitussa suomalaisessa seurantahankkeessa havaittiin, että äänteen pituuden havaitseminen oli erilaista vauvoilla, joilla oli perhetaustainen lukivaikeusriski (Lyytinen ym., 2004). Tutkimuksessa varioitiin /t/-äänteen pituutta epäsanojen /ata/ ja /atta/ välillä ja havaittiin, että riskiryhmän vauvat tarvitsivat verrokkiryhmään verrattuna pidemmän /t/-äänteen havaitakseen epäsanana olevan /atta/. Hollantilaisessa seurantatutkimuksessa arvioitiin puheen havaitsemista leikki-ikäisillä lapsilla, joilla oli joko perhetaustainen lukivaikeusriski tai diagnosoitu DLD (van Alphen ym., 2004). Riskiryhmän lapset havaitsivat verrokkiryhmää heikommin kieliopillisia rakenteita, väärin lausuttuja sanoja, riimejä sekä konsonantteja,

mutta eivät vokaaleja. DLD-ryhmään verrattuna lapset, joilla oli lukivaikeusriski, havaitsivat paremmin väärin lausuttuja sanoja, mutta yhtä heikosti konsonantteja sekä riimejä. Myös brittiläisessä seurantatutkimuksessa lapsilla, joilla oli perhetaustainen lukivaikeusriski, sanojen havaitseminen oli 5.5-vuotiaana heikompaa kuin verrokkiryhmän lapsilla, mutta parempaa kuin DLD-ryhmän lapsilla (Snowling, Lervåg, Nash & Hulme, 2019). Lisäksi sanojen havaitseminen oli suoraan yhteydessä fonologiseen tietoisuuteen ja nopeaan nimeämiseen samassa seurantapisteessä sekä lukutaitoon vuotta myöhemmin. Behavioraalisia arviointimenetelmiä hyödyntäen lukivaikeusriskiin on siis johdonmukaisesti liitetty puheäänten havaitsemiseen liittyvää haastetta.

Pienten lasten puheen havaitsemisen behavioraalinen arviointi on kuitenkin haastavaa ja epävarmaa, sillä lapsen on joko suorasti tai epäsuorasti osoitettava esimerkiksi tunnistavansa, erottelevansa tai ymmärtävänsä esitetty puheärsyke. Epäsuorat arviointimenetelmät ovat aina alttiita tulkintavirheille, kun taas lapsen aktiivista osallistumista vaativat arviointimenetelmät ovat mahdollisia vasta sitten, kun lapsella on tarvittavat kielelliset taidot tehtävänannon ymmärtämiseen, riittävät tarkkaavuuden ja itsesäätelyn taidot sekä motivaatio tehtävän suorittamiseen. Myös aiemmin mainitussa seurantatutkimuksessa havaittiin, että sanojen kategorinen havaitseminen oli yhteydessä tarkkaavuuden säätelyyn ja yhteys oli voimakkaampi riski- kuin verrokkiryhmässä (Snowling ym., 2019). Aktiivista osallistumista vaativa behavioraalinen arviointi jättää siis epäselväksi sen, missä määrin tulokset selittyvät havaitsemiseen liittyvillä ja missä määrin taas tarkkaavuuteen liittyvillä tekijöillä. Tarkkaavuuden osuuden merkitystä lukivaikeuden tutkimuksessa korostaa myös se, että lukivaikeus esiintyy usein yhdessä aktiivisuuden ja tarkkaavuuden häiriön (ADHD) kanssa (Willcutt & Pennington, 2000). Fysiologisilla menetelmillä, kuten aivojen sähkökäyrämittauksella (elektroenkefalografia, EEG) herätevasteita (*event related potentials*, ERP) hyödyntämällä, voidaan arvioida puheen havaitsemista ilman lapsen aktiivista osallistumista tai tarkkaavuuden suuntaamista esitettyihin ärsykkeisiin.

1.2 Herätevasteen MMN-komponentti kuulohavainnon tutkimuksessa

1.2.1 MMN-komponentti automaattisen kuulohavainnon erottelun heijastajana

Aivosähkökäyrämittaus eli EEG mittaa päänahan pinnalle asetettujen anturien avulla aivojen suurten hermosolujoukkojen yhtäaikaista sähköistä toimintaa, pääasiassa aivokuoren pyramidaalisolujen postsynaptisia potentiaaleja (Luck, 2014a). Vauvojen ja pikkulasten

tutkimukseen EEG soveltuu erityisesti siksi, että se on turvallinen ja verrattain vaivaton ja nopea menetelmä eikä välttämättä vaadi lainkaan tarkkaavuuden suuntaamista tai aktiivista osallistumista mittaukseen (Thierry, 2005). EEG:n selkeä vahvuus on myös sen suuri ajallinen tarkkuus, mikä mahdollistaa kognitiivisten prosessien vaiheiden kuvantamisen jopa millisekunnin tarkkuudella. EEG:tä voidaan hyödyntää kuulohavainnon tutkimukseen esittämällä tutkittavalle mittauksen aikana ääniärsyksiä ja eristämällä jatkuvasta signaalista tiettyyn ääneen liittyvät lyhyet ajanjaksot. Kun ääneen liittyvän ajanjakson useat toistot keskiarvoistetaan, niin kohinasta ja muusta ärsyksen kannalta satunnaisesta aivotoiminnasta erotetaan erillinen, kyseiseen ääneen liittyvä heräteaste (engl. *event-related potential*) eli ERP (Luck, 2014b). Näin muodostettu ERP-käyrä voidaan eri menetelmin jakaa komponentteihin, joiden tulkitaan ilmentävän eri kognitiivisia prosesseja (Luck, 2014a).

Kuulohavainnon tutkimuksessa paljon hyödynnetty heräteasteen komponentti on poikkeavuusnegatiivisuus (engl. *mismatch negativity*) eli MMN (Näätänen, Paavilainen, Rinne & Alho, 2007). MMN syntyy, kun samanlaisena toistuvien äänten (vakioärsyke) sarjassa esitetään harvakseltaan poikkeava ääniärsyke. Poikkeavan ärsyksen ja vakioärsyksen ERP-käyrien erotuksena muodostetussa erotuskäyrässä MMN on tavallisimmin pään pinnan frontosentraalisilla alueilla havaittava negatiivinen huippu noin 150–250 millisekuntia äänisarjassa havaittavan muutoksen alusta, joskin sen voimakkuus ja ajoitus vaihtelevat jonkin verran koeasetelman mukaan (Garrido, Kilner, Stephan & Friston, 2009). MMN-komponentin ajatellaan ilmentävän kuulohavainnon erottelua, kun auditiivinen järjestelmä vertaa poikkeavaa ääntä toistuvalla äänelle muodostuneeseen muistijälkeen (Näätänen, Jacobsen & Winkler, 2005). MMN syntyy kaikille havaittaville muutoksille toistuvassa äänivirrassa, kuten korkeuden, voimakkuuden, rytmin, melodian ja puheäänten muutoksille tai äänisarjan säännön rikkoutumiselle, kuten odotetun äänen puuttumiselle äänisarjasta (Näätänen, Paavilainen, Rinne & Alho, 2007). MMN on yhteydessä kuulijan kykyyn erotella ääniärsyksiä tietoisesti käyttäytymiskokeissa ja komponentti on sitä voimakkaampi, mitä huomattavampi on ero toistuvan ja poikkeavan ärsyksen välillä (Kujala, Tervaniemi & Schröger, 2007). MMN ilmentää automaattista kuulohavainnon erottelua ja voi syntyä ilman, että kuulija tahdonalaisesti suuntaa tarkkaavuuttaan esitettyihin ärsyksiin (Näätänen ym., 2007), minkä vuoksi se soveltuu hyvin kliinisten ryhmien, vauvojen ja pienten lasten kuulohavainnon tutkimukseen. Siinä missä aikuisilla mitattu MMN on tutkimuksesta toiseen verrattain johdonmukaisesti tunnistettava negatiivinen huippu, on varhaiskehityksen aikana

mitatuissa vasteissa enemmän vaihtelua. Tästä syystä MMN-komponentin vastineeseen varhaislapsuudessa viitataan usein laajemmalla termillä poikkeavuusvaste (engl. *mismatch response*) eli MMR.

1.2.2 MMR-komponentin kypsyminen varhaislapsuudessa

Kuulohavainnon erotteluun liittyvät herätevasteet muuttuvat sikiöajan ja varhaislapsuuden hermostollisen kypsymisen ja ympäristön altistuksen myötä. Herätevasteiden kypsymiseen liittyy tavallisesti komponenttien lisääntyminen, ajoituksen aikaistuminen, polariteetin kääntyminen sekä voimakkuuden muutokset niin, että voimakkuus ensin kasvaa huippuunsa, minkä jälkeen se hieman heikkenee lopulliseen, aikuisilla havaittavaan muotoonsa (Cheour, Leppänen & Kraus, 2000). On epäselvää, mihin neuroanatomisiin muutoksiin herätevasteiden kypsyminen liittyy. On kuitenkin esitetty, että vasteiden ajoituksen varhaistuminen liittyy hermoimpulssien nopeutumiseen aksonien myelinisoitumisen myötä, ja että voimakkuuden muutokset liittyisivät synapsien tiheyteen, joka sikiön- ja varhaiskehityksen myötä ensin kasvaa ja sittemmin vähenee (Kushnerenko, Van den Bergh & Winkler, 2013).

Aikuisen MMN-komponenttia vastaava poikkeavuusvaste MMR voidaan mitata jo pikkulapsilta ja vastasyntyneiltä ilman tahdonalaista tarkkaavuuden suuntaamista tai jopa nukkuessa (Cheour ym., 2000). Poikkileikkausasetelmassa 3–44 kuukauden ikäisillä lapsilla havaittiin siniäänten taajuusmuutokselle (1000 Hz ja 2000 Hz) negatiivinen MMR, jonka voimakkuus pysyi samana, mutta ajoitus aikaistui iän myötä (Morr, Shafer, Kreuzer & Kurtzberg, 2002). Hienovaraisemmalle taajuusmuutokselle (1000 Hz ja 1200 Hz) sen sijaan ei havaittu negatiivista vastetta, mutta alle vuoden ikäisillä vauvoilla havaittiin positiivinen MMR noin 150–300 millisekuntia muutoksesta. Tutkijat esittivät, että varhaislapsuudessa kuulohavainnon erotteluun voi liittyä negatiivisen komponentin lisäksi positiivinen komponentti, jonka voimakkuus pienenee iän myötä. Tämä positiivinen komponentti olisi tutkijoiden mukaan alle vuoden ikäisillä riittävän voimakas mitattavaksi, mutta vanhemmilla lapsilla positiivinen komponentti riitti ainoastaan peittämään negatiivisen komponentin jännitteiden summautuessa mittauksessa. Vastaavasti toisessa poikkileikkaustutkimuksessa havaittiin hidas positiivinen MMR, joka oli selkein kahden kuukauden ikäisillä ja edelleen havaittavissa kuuden kuukauden ikäisillä (Trainor ym., 2003). Sen sijaan negatiivista komponenttia ei havaittu kahden kuukauden iässä, mutta se havaittiin joillain 3–4 kuukauden ikäisillä ja useimmilla puolivuotiailla.

Myös puheäänten erottelua tutkittaessa on havaittu, että vauvaiän MMR on usein myöhäisempi ja polariteetiltaan positiivinen, mutta toiminnallisilta ominaisuuksiltaan aikuisiän MMN-komponenttia muistuttava (Dehaene-Lambertz & Gliga, 2004). Esimerkiksi suomenkielisiä vastasyntyneitä tutkittaessa havaittiin positiivinen MMR 200–600 millisekuntia muutoksesta tavun äänenvoimakkuuden, vokaalin ja konsonantin sekä vokaalin pituuden muutoksen ERP-käyrässä, kun taas äänenkorkeuden muutokselle MMR-komponenttia ei syntynyt (Partanen, Pakarinen, Kujala & Huotilainen, 2013). Vain muutamalla vauvalla MMR oli negatiivinen. Täysiaikaisena syntyneiden ja keskosten puheäänten erottelua verrattaessa havaittiin kolmen kuukauden iässä positiivinen ja 1–3 vuoden iässä negatiivinen MMR, jonka ajoitus oli keskosilla myöhäisempi (Paquette ym., 2015). Synteettisten äänten erotteluun puolestaan liittyi molemmilla ryhmillä negatiivinen, aikuisiän MMN-komponenttia muistuttava MMR. Lisäksi myöhäisempi vaste puheäänille oli yhteydessä heikompiin puheen ymmärtämisen ja tuoton taitoihin. Vastaavia tuloksia positiivisen MMR-komponentin ja kielen kehityksen viiveen yhteydestä on saatu tutkittaessa myös puheen painotuksen erottelua (Friedrich, Herold & Friederici, 2009). Vauvaiän jälkeenkin leikki-iässä puheäänten erotteluun voi liittyä sekä positiivinen että negatiivinen komponentti (Shafer, Yu & Datta, 2010). MMR muuttuu varhaiskehityksessä paitsi kypsymisen, myös oppimisen myötä: Esimerkiksi positiivinen MMR äidinkielelle epätyypilliselle äänenkorkeuden muutokselle havaittiin vain niillä vastasyntyneillä, jotka kuuluivat kyseisen äänenpiirteen kuuntelulle raskausaikana altistettuun koeryhmään (Partanen, Kujala, ym., 2013). Tämä raskausaikainen oppimisvaikutus yleistyi myös vokaalin keston ja voimakkuuden muutosten erotteluun, joissa positiivinen MMR havaittiin niin ikään ainoastaan koeryhmässä. Myös kieliympäristöllä on merkitystä ja onkin viitteitä siitä, että MMR-komponentin kypsyminen vauvaiästä kouluikään tapahtuu eri tavoin yksi- ja kaksikielisillä lapsilla (Shafer, Yu & Datta, 2011).

Vaikuttaa siis siltä, että MMR-komponentti aikaistuu ja kääntyy polariteetiltaan keskushermoston kypsymisen ja oppimisen myötä, ja tähän kehityskulkuun liittyy suurta vaihtelua niin yksilöiden kuin käytettyjen ärsykkeidenkin välillä. On epäselvää, missä määrin varhaislapsuuden MMR vastaa aikuisiän MMN-komponenttia ja koostuuko MMR yhdestä vai useammasta, sekä positiivisesta että negatiivisesta komponentista. Positiivinen ja viivästynyt MMR vaikuttaa kuitenkin varsin johdonmukaisesti viittaavan kypsymättömään erotteluprosessiin, sillä se on tavallisempi vastasyntyneillä (Partanen, Kujala, ym., 2013;

Partanen, Pakarinen, ym., 2013) ja nuoremmilla kuin vanhemmilla lapsilla (Paquette ym., 2015; Shafer ym., 2010, 2011; Trainor ym., 2003) sekä käytettäessä haastavammin eroteltavia ärsyksiä (Morr ym., 2002; Paquette ym., 2015), ja on lisäksi yhteydessä heikompiin kielellisiin taitoihin (Friedrich ym., 2009; Paquette ym., 2015). On siis oletettavaa, että jos lukivaikeuteen liittyy puheäänten havaitsemisen poikkeavuutta jo varhaiskehityksessä, voisi tämä poikkeavuus näkyä myös MMR-vasteiden kypsyttömyytenä verrattuna tyypillisesti kehittyviin lapsiin.

1.3 MMN- ja MMR-komponentti lukivaikeudessa

1.3.1 MMN-komponentti aikuisilla ja lapsilla, joilla on lukivaikeus

Aikuisiässä lukivaikeuteen vaikuttaa liittyvän sekä puheärsykkeiden että muiden äänten hienovaraisten muutosten erotteluun liittyvä heikentynyt MMN (Kujala, 2007). Tutkimustulokset ovat hyvin vaihtelevia, eikä ole selvää, liittyykö heikentynyt erottelukyky nimenomaan puheäänten havaitsemiseen, vai yleisemmin äänten havaitsemiseen. Muihin kuin puheärsyksiin liittyviä epätyypillisiä MMN-komponentteja on havaittu erityisesti hienovaraisten äänenkorkeusmuutosten erottelussa (Baldeweg, Richardson, Watkins, Foale & Gruzelier, 1999; Kujala, Lovio, Lepistö, Laasonen & Näätänen, 2006) sekä nopeiden ajallisten muutosten erottelussa (Kujala, Belitz, Tervaniemi & Näätänen, 2003; Kujala ym., 2000). Verrattaessa sini- ja puheäänten erottelua lukivaikeudessa on heikentynyt MMR havaittu vaihtelevasti joko ainoastaan puheäänten muutokselle (Schulte-Körne, Deimel, Bartling & Remschmidt, 2001) tai ainoastaan siniäänten muutokselle (Sebastian & Yasin, 2008). On myös havaintoja, joiden mukaan lukivaikeuteen ei liity heikentynyttä MMN-komponenttia puhe- tai muidenkaan äniärsykkeiden erottelussa (Tuomainen, 2015). Tulosten vaihtelu voi liittyä käytettyjen ärsykkeiden, koeasetelmien, EEG-signaalin käsittelyn ja MMN-komponentin määrittämisen kirjaviin käytäntöihin sekä siihen, että tutkimusten osallistujien lukivaikeus oli vaihtelevassa määrin kompensoitunut niin, etteivät lapsuudessa selkeästi näyttäytyneet lukemisen haasteet enää aikuisuudessa ilmenneet. Vaihtelevat tulokset voivat liittyä lisäksi siihen, että tutkimuksissa käytetyt ryhmäkoot ovat usein pieniä (noin 10 osallistujaa) ja laaja monivertailu tavallista: Ryhmävertailut toteutetaan usein lukuisten kanavien, aikaikkunoiden ja ärsyketyyppien yli, ja merkitsevä ryhmäero havaitaan vain harvassa näistä vertailusta.

Tutkittaessa lukivaikeuden ja MMN-komponentin yhteyttä kouluikäisillä lapsilla on niin ikään saatu vaihtelevia tuloksia. Esimerkiksi suomenkielisiä lapsia tutkittaessa heikentynyt MMN-

komponentti siniäänten muutokselle havaittiin niillä lapsilla, joilla lukivaikeus oli vaikea-asteinen (Huttunen-Scott, Kaartinen, Tolvanen, & Lyytinen, 2008), mutta ei lapsilla, joiden lukivaikeus oli lievempi (Huttunen, Halonen, Kaartinen, & Lyytinen, 2007). Espanjalaisilla kaksikielisillä lapsilla MMN oli lukivaikeusryhmässä voimakkuudeltaan heikompi äänen pituuden muutokselle sekä ajoitukseltaan myöhäisempi paitsi pituuden, myös äänenkorkeuden muutokselle ja foneemiselle eli semanttista merkitystä välittävälle muutokselle (Corbera, Escera & Artigas, 2006). Ranskankielisillä lapsilla puolestaan lukivaikeusryhmän MMN hienovaraisille konsonanttimuutoksille oli verrokkilapsia heikompi, mutta vokaalin pituuden tai äänenkorkeuden muutoksiin liittyvä MMN ei eronnut ryhmien välillä (Chobert, François, Habib & Besson, 2012). Vaihtelevat tulokset voivat liittyä osin siihen, ettei lukivaikeus ilmene aina samanlaisena, vaan eri alatyyppeinä erilaisine lukemisen vaikeuksineen: Esimerkiksi puhe- ja siniäänten muutokselle syntyvä MMN-komponentti oli poikkeava lapsilla, joiden lukivaikeus painottui nopeaan sanalukuun, mutta ei lapsilla, joilla oli epäsanojen lukuun painottuva lukivaikeus (Lachmann, Berti, Kujala & Schröger, 2005). Vaikka tutkimustulokset ovat myös kouluikäisten lasten kohdalla vaihtelevia, on tutkimuksesta toiseen varsin johdonmukaisesti havaittu jonkinlaista puheen tai muun kuulohavainnon erottelun heikkoutta MMN-komponentin voimakkuuden tai ajoituksen ilmentämänä. Aikuisten ja kouluikäisten tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan voida olettaa mahdollista syy-seuraus-suhdetta kuulohavainnon automaattisen erottelun ja lukivaikeuden välillä, vaan nuorempia lapsia tutkimalla on osoitettava, että kuulohavainnon poikkeavuus edeltää myöhempiä fonologisen prosessoinnin ja lukemisen taitoja.

1.3.2 MMR-komponentin yhteys perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin

Perhetaustaisen lukivaikeusriskin yhteyttä MMR-komponenttien ilmentämään puheäänten erottelukykyyyn sekä kielellisten ja lukitaitojen kehitykseen on tutkittu seurantahankkeissa, joissa osallistujia on seurattu syntymästä kouluikään saakka. Hollantilaisessa seurantahankkeessa (*Dutch Dyslexia Programme*, DDP; van der Leij ym., 2013) havaittiin, että jo kahden kuukauden iässä MMR puheäänten erottelulle oli poikkeava vauvoilla, joilla oli perhetaustainen lukivaikeusriski (van Leeuwen ym., 2008). Sekä riski- että verrokkiryhmän vauvoilla havaittiin positiivinen MMR 225–331 millisekuntia puheärsykkeen muutoksesta, mutta vaste oli riskiryhmän vauvoilla kestoaltaan lyhyempi ja pään pinnan jakaumaltaan erilainen. Verrokkiryhmässä havaittiin lisäksi negatiivinen MMR 607–689 millisekuntia puheärsykkeen muutoksesta, jota riskiryhmässä ei havaittu lainkaan. Myöhemmässä

seurannassa positiivinen MMR vastasyntyneenä havaittiin verrokkiryhmän lapsilla sekä niillä riskiryhmän lapsilla, jotka lukivat sujuvasti toisen vuosiluokan alussa, mutta ei riskiryhmän lapsilla, joiden lukeminen ei ollut sujuvaa (van Zuijen, Plakas, Maassen, Maurits & van der Leij, 2013). Tutkimushankkeessa havaittiin myös muiden kuin puheäänten erottelun poikkeavuutta riskiryhmän lapsilla. Vuoden iässä riskiryhmän lapsilla nopea ajallinen muutos siniäänten sarjassa ei synnyttänyt positiivista MMR-komponenttia, joka verrokkiryhmässä havaittiin (van Zuijen ym., 2012). Tämä MMR oli yhteydessä puheen ymmärtämisen taitoihin 4-vuotiaana sekä sanojen ja epäsanojen lukusujuvuuteen, mutta ei fonologisen prosessoinnin taitoihin toisella vuosiluokalla. Myöskään siniäänen alun voimakkuuden muutoksen (*amplitude rise time; ART*) erottelussa 3-vuotiailla riskiryhmän lapsilla ei havaittu vastaavaa MMR-komponenttia kuin verrokkiryhmän lapsilla, mutta tässä vasteessa ei ollut eroa myöhemmin sujuvasti ja heikosti lukevien riskiryhmän lasten välillä (Plakas, van Zuijen, van Leeuwen, Thomson & van der Leij, 2013).

Myös suomalaisessa seurantahankkeessa (*Jyväskylä Longitudinal Study of Dyslexia, JLD*; Lyytinen ym., 2001) havaittiin perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin liittyvää poikkeavaa puhe- ja siniäänten havaitsemista. Positiivinen MMR siniäänten taajuuden muutokselle oli riskiryhmässä heikompi jo vastasyntyneenä, mutta ei erotellut toisistaan myöhemmin sujuvasti ja heikosti lukevia riskiryhmän lapsia (Leppänen ym., 2010). Positiivisempi MMR vastasyntyneenä oli kuitenkin yhteydessä vahvempiin fonologisiin taitoihin 3.5-vuoden iässä sekä lukunopeuteen toisella vuosiluokalla. Synteettisten puheäänten konsonanttien erottelussa havaittiin, että riskiryhmän vastasyntyneillä MMR oli verrokkiryhmää vahvemmin positiivinen oikealla aivopuoliskolla 50–170 ja 540–630 millisekuntia ärsykkeen muutoksesta (Guttorm, Leppänen, Richardson & Lyytinen, 2001; Guttorm, Leppänen, Tolvanen & Lyytinen, 2003). Sen sijaan MMR 240–410 millisekuntia muutoksesta ei eronnut ryhmien välillä, kuten ei myöskään MMR luonnollisten puheäänten muutokselle. Myöhemmässä seurannassa niillä riskiryhmän lapsilla, joilla myöhäisin MMR synteettisen puheäänen muutokselle oli vastasyntyneenä positiivinen, fonologisen prosessoinnin taidot esikouluiässä olivat heikommat verrattuna verrokkiryhmän lapsiin, joilla vastaava MMR oli vastasyntyneenä negatiivinen (Guttorm, Leppänen, Hämäläinen, Eklund & Lyytinen, 2010). Lisäksi lapsen ryhmästatus ja MMR-komponentin polariteetti vastasyntyneenä selittivät yhdessä puheen ymmärtämisen taitoja sekä 2.5-vuoden että 5-vuoden iässä sekä kielellistä muistia 5-vuoden iässä niin, että positiivisempi MMR oli yhteydessä heikompiin taitoihin (Guttorm ym., 2005).

MMR-komponentin itsenäinen selitysaste muodostetuissa malleissa oli puheen ymmärtämisen kohdalla 2.5-vuotiaana 13.0 % ja 5-vuotiaana 6.6 % sekä kielellisen muistin kohdalla 7.7 %.

Edellä esitellyissä tutkimuksissa on johdonmukaisesti havaittu perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin liittyvän jonkinlaista poikkeavaa kuulohavainnon erottelukykyä, mutta koeasetelmasta, ärsykkeistä ja MMR-komponentin määrittelystä riippuen tämä poikkeavuus voi liittyä vasteen polariteettiin, voimakkuuteen, ajoitukseen, kestoon tai päänpinnan jakaumaan. Tämän tutkimuksen kannalta vertailukelpoisin aiempi koeasetelma hyödynsi samaa luonnollisten epäsanojen ärsykejoukkoa sekä osin samaa aineistoa, kuin tässä tutkimuksessa. Myös tässä tuoreessa tutkimuksessa havaittiin korkeaan perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin liittyvän poikkeavaa puheäänten havaitsemista jo vastasyntyneenä (Thiede ym., 2019). Verrokkiryhmässä havaittiin varhainen negatiivinen MMR sekä vokaalin keston että äänenkorkeuden muutokselle, mutta vastaavaa ei havaittu riskiryhmässä. Ainoastaan riskiryhmässä havaittiin sen sijaan myöhempi positiivinen MMR äänenkorkeuden muutokselle. Vokaalin muutos synnytti positiivisen myöhemmän MMR-komponentin yhtä lailla molemmissa ryhmissä, mutta tämä MMR oli verrokkiryhmässä painottunut voimakkaammin oikealle aivopuoliskolle. Tulosten perusteella positiivinen MMR vaikuttaa myös tässä aineistossa suomenkielisiä epäsanvoja hyödyntäen ilmentävän erotteluprosessin kypsyttömyyttä. Verrokkiryhmässä vastasyntyneiden erottelukyky vokaalin pituudelle ja äänenkorkeudelle oli siis riskiryhmän lapsia kypsyneempi ja polariteetin kääntyminen jo alkanut. Sen sijaan vokaalin muutoksen synnyttämä myöhäinen MMR oli molemmissa ryhmissä polariteetiltaan positiivinen eli kypsyttömmämpi. Samoja ärsykejä ja osin samaa aineistoa hyödyntäen tässä tutkimuksessa tarkastellaan, näyttötykö Thieden ym. (2019) tutkimuksessa havaittu puheäänten erottelun kypsyttömyys vastaavalla tavalla myös kahden vuoden iässä, ja miten puheäänten erotteluun liittyvät MMR-komponentit ovat yhteydessä varhaisiin kielellisiin taitoihin.

1.4 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarkastella suomen kielelle ominaisten foneemisten eli semanttista merkitystä välittävien muutosten sekä äänenkorkeuden muutoksen automaattiseen erotteluun liittyviä MMR-komponentteja perhetaustaisessa lukivaikeusriskissä olevilla 2-vuotiailla lapsilla. Tutkimuskysymyksinä olivat:

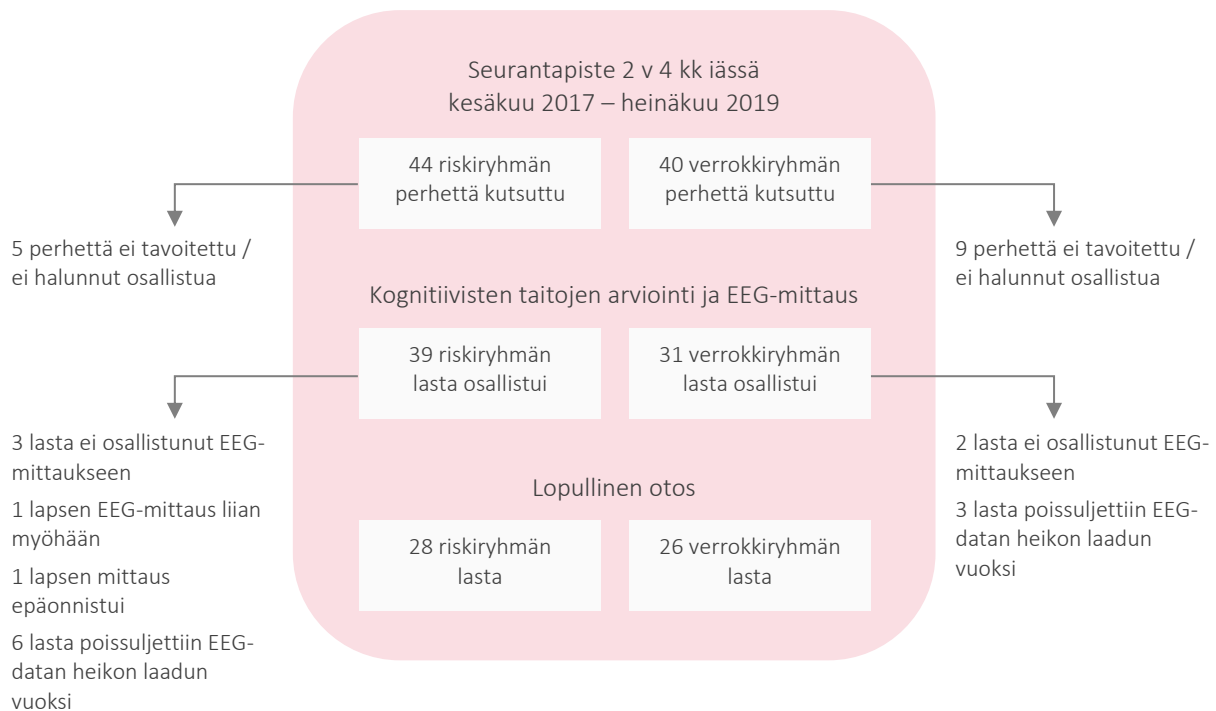
1. Eroaako puheäänten erotteluun liittyvän MMR-komponentin voimakkuus riski- ja verrokkiryhmän välillä? Hypoteesina on, että verrokkiryhmän vasteet ovat voimakkaammin negatiivisia kuin riskiryhmän.
2. Selittääkö vaihtelu herätevasteiden komponenteissa vaihtelua puheen ymmärtämisessä, tuotossa ja sanavarastossa, ja onko yhteys samanlainen riski- ja verrokkiryhmässä? Hypoteesina on, että kypsyneemmät eli negatiivisemmat vasteet ovat yhteydessä vahvempiin kielellisiin taitoihin molemmissa ryhmissä.

2. Menetelmät

2.1 Osallistujat

2.1.1 Rekrytointi

Tutkimuksen lopullinen otos koostui Lukivauva-seurantatutkimuksessa mukana olevista lapsista, joista 28 kuului perhetaustaisen lukivaikeusriskin ryhmään ja 26 verrokkiryhmään. Tutkimushankkeella on HUS:n Naisten, lasten ja psykiatrian eettisen toimikunnan puoltava lausunto. Osallistujien rekrytointin ja otoksen rajaamisen vaiheet on esitetty yksityiskohtaisesti [kuvassa 1](#). Seurantatutkimuksen aineiston keruu aloitettiin vuonna 2015. Tutkimukseen osallistuneet perheet tavoitettiin joukko- ja sosiaalisen median sekä neuvola- ja sairaalatiedotteiden avulla. Osallistujat olivat terveinä ja täysiaikaisena syntyneitä normaalikuuloisia lapsia. Riskiryhmän osallistujilla vähintään toisella vanhemmista oli lukivaikeus. Lukivaikeus todettiin joko korkeintaan viisi vuotta vanhan diagnoosin perusteella tai seurannan alkaessa tutkimusavustajan suorittaman arvioinnin perusteella. Arviointi sisälsi standardoidun luku- ja kirjoitustestin sekä anamnestisen haastattelun. Osallistujien vanhemmat eivät raportoineet aktiivisuus- ja tarkkaavuushäiriöön tai laaja-alaisiin oppimisvaikeuksiin viittaavia vaikeuksia. Verrokkiryhmän osallistujien lähisuvussa ei ilmennyt lainkaan lukivaikeutta tai muita kielen kehityksen häiriöitä. Vanhemmat tutustuivat tutkimusta koskevaan tiedotteeseen ja vähintään toinen vanhemmista antoi kirjallisen suostumuksen lapsen osallistumiselle. Seurannan alkaessa vanhemmilta kerättiin kyselyin lapsen syntymätodistuksen tiedot sekä keskeisiä taustatietoja muun muassa kotiympäristön kielestä, vanhempien koulutusvuosien määrästä ja vanhempien lukivaikeusdiagnoosista.



Kuva 1. Tutkimuksen otos

2.1.2 Seurantavaihe 2 v 4 kk iässä

Tämän tutkimuksen aineisto oli osaotos lapsista, jotka osallistuivat kesäkuun 2017 ja heinäkuun 2019 välillä toteutettuun seurantavaiheeseen lapsen ollessa noin kaksi vuotta ja neljä kuukautta vanha (810–870 päivää). Neljä verrokkiryhmän perhettä halusi keskeyttää osallistumisensa ennen kutsua seurantatutkimukseen. Kaikkiaan 44 riskiryhmän ja 40 verrokkiryhmän lasta tuli tavoiteikään seuranta-aikana ja heidät kutsuttiin kognitiivisten taitojen arviointiin sekä EEG-mittaukseen puhelimitse. Molempiin arviointeihin tavoiteiässä osallistui 35 riskiryhmän ja 29 verrokkiryhmän lasta. Yhden riskiryhmän lapsen EEG-mittaus epäonnistui teknisen ongelman vuoksi. Kuusi riskiryhmän lasta ja kolme verrokkiryhmän lasta poissuljettiin otoksesta EEG-aineiston heikon laadun vuoksi (ks. kriteerit luvussa [2.3.3 EEG-aineiston alkukäsittely](#)). Lopullisessa otoksessa riskiryhmään kuului 28 lasta (12 tyttöä) ja verrokkiryhmään 26 (13 tyttöä) lasta. Lasten syntymäpaino oli keskimäärin 3651 g (vaihteluväli 2555–4720) ja raskauden kesto 40+1 viikkoa (vaihteluväli 37+3–42+1). Lapsen ikä hänen osallistuessaan kognitiivisten taitojen arviointiin osallistuessa oli keskimäärin 839.3 päivää (vaihteluväli 813–869) ja EEG-mittaukseen keskimäärin 844.5 päivää (vaihteluväli 815–870). Taitojen arviointi suoritettiin kahta poikkeusta lukuun ottamatta aina ensimmäisenä, ja väli arvioinnin ja EEG-mittauksen välillä oli keskimäärin 5.2 päivää

(vaihteluväli -2–35). Riskiryhmässä todettu lukivaikeus oli 17 perheen äidillä, yhdeksän perheen isällä ja yhden perheen molemmilla vanhemmilla. Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa syntymäpainon, raskauden keston, vanhempien koulutusvuosien tai lapsen iän suhteen.

2.2 Kognitiivisten taitojen arviointi

2.2.1 Tutkimustilanne

Lapsen kognitiivisten taitojen arviointi toteutettiin pääosin Helsingin yliopiston lääketieteellisen tiedekunnan tiloissa Helsingissä. Lisäksi viisi lasta arvioitiin Jyväskylän yliopiston vastaavissa tutkimustiloissa Jyväskylässä. Tutkimustila oli hiljainen ja rauhallinen huone. Lapsi saapui tutkimukseen vanhemman tai hoitajan saattamana. Pääsääntöisesti saattaja odotti tutkimushuoneen ulkopuolella, mutta lapsen halutessa hän saattoi odottaa myös samassa huoneessa, jolloin häntä ohjeistettiin olemaan auttamatta lasta tehtävissä. Arviointeja toteuttivat aineiston keräämisestä vastaava tohtorikoulutettava, joka oli koulutukseltaan puheterapeutti, sekä kuusi tutkimusavustajaa, jotka olivat psykologian tai logopedian koulutusohjelman maisterivaiheen opiskelijoita ja perehdytetty arviointimenetelmien käyttöön. Arviointi pyrittiin toteuttamaan sokkouttaen niin, ettei tutkija tiennyt lapsen ryhmästatusta. Sokkoutus epäonnistui viiden riskiryhmän lapsen kohdalla. Arviointi keski kokonaisuudessaan 1.5–3 tuntia ja sen aikana pidettiin lyhyitä taukoja lapsen tarpeen mukaan. Arviointi sisälsi useita tehtäviä ja esittämisjärjestys tasapainotettiin osallistujien välillä niin, että noin puolille osallistujista kielellisten taitojen tehtävät ja noin puolille visuospatiaalisten taitojen tehtävät esitettiin ensin. Tämän tutkimuksen kannalta keskeiset tehtävät esitellään seuraavaksi.

2.2.2 Puheen ymmärtämisen ja tuoton arviointi

Lapsen kielellisiä taitoja arvioitiin Reynellin kielellisen kehityksen testillä (RDLS-III; Edwards ym., 1997 / 2001). Menetelmällä arvioidaan leikinomaisin tehtävin erikseen puheen ymmärtämisen (PY) sekä tuoton (PT) taitoja. Puheen ymmärtämisen tehtävillä arvioidaan sanaston, lukumäärien, värien ja sijainnin sekä lauseiden ja monimutkaisten kielellisten rakenteiden ymmärtämistä. Tehtävissä ei vaadita kielellistä ilmaisua, vaan kysymyksiin voi vastata osoittamalla ja näyttämällä. Puheen tuoton tehtävillä arvioidaan lapsen kykyä tuottaa sanoja, sanojen taivutusmuotoja sekä monimutkaisia rakenteita ja lauseita. Tehtävät

edellyttävät vastauksen antamista sanallisesti. Testin suorittamisessa noudatettiin testin käsikirjan mukaista ohjeistusta tehtävien esittämisessä, keskeyttämisessä ja pisteytyksessä. Lasten suoriutumisessa ei ollut eroja lapsen sukupuolen (PY: $F(1, 52) < 0.01$; $p = .97$; PT: $F(1, 52) = 0.08$; $p = .78$), esittämisjärjestyksen (PY: $F(1, 52) = 0.89$; $p = .35$; PT: $F(1, 52) = 0.83$; $p = .37$) tai tutkijan suhteen (PY: $F(6, 47) = 0.88$; $p = .53$; PT: $F(6, 47) = 0.65$; $p = .69$).

2.2.3 Sanavaraston arviointi

Tutkimuspäivänä vanhemmalle annettiin täytettäväksi suomenkielinen 16-30 kuukauden ikäisten lasten versio McArthur Communicative Development Inventories -lomakkeesta (MCDI; Lyytinen, 1999). Lomakkeella arvioidaan vanhemman raportointiin perustuen lapsen sanavaraston laajuutta sekä sanojen, taivutusmuotojen ja lauseiden käyttöä. Tässä tutkimuksessa lapsen sanavaraston laajuutta (SV) mitattiin MCDI-kyselyn Sanavarasto-osuudella, jossa vanhempi merkitsee 595 sanan listasta ne sanat, jotka lapsi ymmärtää ja osaa tuottaa. Myös virheellisesti tuotetut ja lapsen omat ilmaisut, joilla lapsi selkeästi ja johdonmukaisesti tarkoittaa tiettyä sanaa, luettiin lapsen sanavarastoon. Mikäli lapsi käytti samaa ilmaisua useaan eri sanaan viittaamiseen (esimerkiksi *ii-i* viitaten sekä sanoihin *hiiri* että *siili*), sai hän ilmaisusta vain yhden pisteen.

2.2.4 Yleisen taitotason kontrollointi

Lapsen yleisen taitotason kontrolloimiseksi annettiin vanhemmalle tutkimuspäivänä täytettäväksi suomenkielinen versio Bayley Scales III (Infant and Toddler Development) -testistön (Bayley, 2006 / 2008) kyselylomakkeesta, jolla arvioidaan vanhemman raportointiin perustuen lapsen kokonaisvaltaista kehitystä. Kyselyyn sisältyvät sosioemotionaalisen kehityksen asteikko sekä adaptiivisen käyttäytymisen asteikko, joista jälkimmäistä hyödynnettiin tässä tutkimuksessa lapsen yleisen taitotason kontrolloimiseksi. Adaptiivisen käyttäytymisen asteikolla kartoitetaan laaja-alaisesti iänmukaisia arjen taitoja, kuten kommunikaatio-, päättely-, omatoimisuus-, itsesäätely- ja sosiaalisia taitoja kotona ja lähiympäristössä.

Lisäksi lapsen visuospatiaalisia taitoja arvioitiin WPPSI III:n (Wechsler, 2003 / 2009) Kuutiot- (Ku) ja Kokoamistehtävä-osatehtävien (Ko) 2–3-vuotiaiden versiolla. Tehtävien esittämisessä, keskeyttämisessä ja pisteytyksessä noudatettiin testistön käsikirjan mukaisia

ohjeita. Osatehtävistä muodostettiin suora summamuuttuja *visuospatiaaliset taidot*. Suoriutumisessa ei ollut eroja lapsen sukupuolen (Ku: $F(1, 52) = 0.30$; $p = .59$; Ko: $F(1, 52) = 0.05$; $p = .82$), esitysjärjestyksen (Ku: $F(1, 52) = 0.16$; $p = .69$; Ko: $F(1, 52) = 0.16$; $p = .69$) tai Kuutiot-tehtävän osalta tutkijan suhteen ($F(6, 47) = 1.88$; $p = .11$). Koska Kokoamis-tehtävässä havaittiin systemaattisia eroja testaaajien välillä ($F(6, 47) = 2.04$; $p = .08$) johtuen testausohjeistuksen eriävistä tulkinnoista, niin visuospatiaalisten taitojen sijaan varsinaisissa analyyseissä kovariaattina käytettiin Bayley-kyselyn adaptiivisen käyttäytymisen pistemäärää lapsen yleisen taitotason kontrolloimiseksi. Ryhmäeroja visuospatiaalisissa taidoissa tarkasteltiin kuitenkin muiden keskeisten taustatekijöiden joukossa.

2.3 EEG-mittaus

2.3.1 Ärsykkeet ja koeasetelma

Koeasetelmana käytettiin äänisarjaa, jossa usein toistuvan vakioärsykkeen joukossa esiintyi harvakseltaan poikkeavia ärsykkeitä. Vakioärsykkeenä käytettiin luonnollisena äänitteenä suomalaisen naisen ääntämää epäsanaa /tata/, jossa puheen paino oli suomen kielen prosodian mukaisesti ensimmäisellä tavulla. Vakioärsykkeen kesto oli kokonaisuudessaan 300 ms, ja korvin kuultava osuus kesti noin 200 ms. Jälkimmäinen tavu alkoi noin 168 ms sanan alusta. Poikkeavina ärsykkeinä käytettiin /tata/ -epäsanana kolmea erilaista muunnosta, joissa yksi epäsanana ominaisuus oli vakioärsykkeestä poikkeava. Muutoksia olivat vokaalin keston muutos (jälkimmäinen vokaali oli 83 ms sijaan 158 ms pitkä, /tata:/), äänenkorkeuden muutos (jälkimmäinen tavu oli viisi puolisävelaskelta vakioärsykettä korkeampi, /tatä/) sekä vokaalin muutos (/tato/). Vokaalin keston muutos oli kuultavissa noin 225 ms sanan alun jälkeen, kun taas äänenkorkeuden muutos ja vokaalin muutos olivat kuultavissa noin 180 ms sanan alun jälkeen. Vokaalin muutos /to/ oli erikseen lausuttu luonnollinen äänite, mutta muut poikkeavat ärsykkeet luotiin vakioäänen pohjalta Adobe Audition CS6, 5.0, Build 708 ja Praat 5.4.01 -ohjelmistoilla. Poikkeavat ärsykkeet korjattiin vastaamaan vakioäänen keskimääräistä äänenvoimakkuutta, ja ensimmäinen tavu /ta/ oli kaikissa äänissä identtinen. Tätä ärsykejoukkoa käyttivät ensimmäistä kertaa Pakarinen ym. (2014). Äänisarjassa esiintyi lisäksi hyvin harvakseltaan 200 ms pituisia akustisesti poikkeavia ja yllättäviä novel-ärsykkeitä, joita ei hyödynnetty tässä tutkimuksessa. Novel-ärsykkeet olivat joko ihmisperäisiä (esim. yskäisy, naurahdus) tai ei-ihmisperäisiä (esim. ovikello, puhelin) ja niitä

oli 46 erilaista. Kyseistä novel-ärsykkeiden joukkoa käyttivät ensimmäistä kertaa Sorokin, Alku ja Kujala (2010).

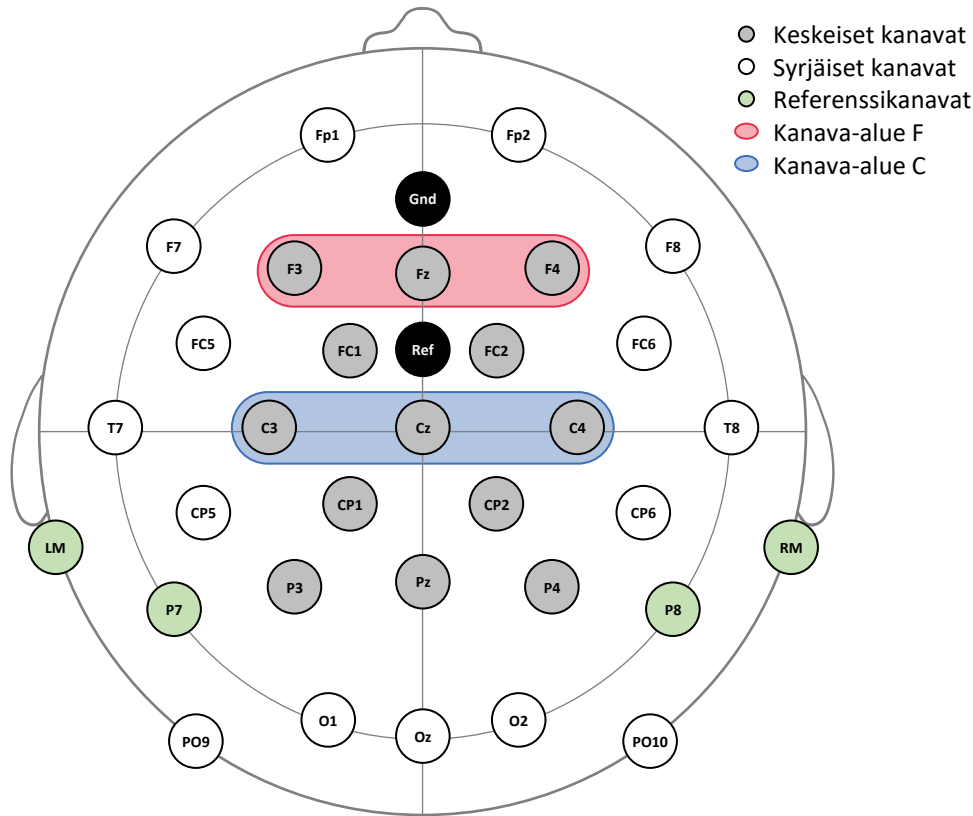
Yksittäinen äänisarja sisälsi noin 472 ärsykettä ja oli kestoaltaan noin seitsemän minuuttia. 70.1 % äänisarjan äänistä oli vakioärsykeitä, 25.3 % poikkeavia ärsykeitä (noin 8.5 % kutakin) ja 4.5 % novel-ärsykeitä. Ärsykkeiden järjestys äänisarjoissa oli satunnaistettu niin, että kaksi poikkeavaa ärsykettä eivät seuranneet toisiaan, vaan poikkeavaa ärsykettä seurasi aina vähintään yksi vakioärsyke. Kesto äänen alusta seuraavan äänen alkuun oli 900 ± 50 ms niin, että ärsykkeiden väli vaihteli satunnaisesti 10 millisekunnin askelin. Äänisarjoja luotiin neljä erilaista, ja ne esitettiin jokaiselle lapselle samassa järjestyksessä. Mahdollisuuksien mukaan ensimmäinen ja toinen äänisarjoista esitettiin tarvittaessa kaksi kertaa silloin, kun jokin äänisarja jouduttiin keskeyttämään lapsen tarpeiden vuoksi tai signaalin laatu jonkin äänisarjan kohdalla oli heikko.

2.3.2 Mittaustilanne ja -laitteisto

EEG-mittaukset toteutettiin pääosin Helsingin yliopiston Kognitiivisen aivotutkimuksen yksikön tutkimuslaboratorioissa Helsingissä. Viiden lapsen mittaus toteutettiin Jyväskylän yliopiston vastaavissa laboratorioissa Jyväskylässä. Mittauksia suorittivat aineiston keruusta vastaava tohtorikoulutettava sekä kymmenen tutkimusavustajaa, jotka oli perehdytetty EEG-mittausten toteuttamiseen sekä laboratorion laitteiston käyttöön. Mittauksessa oli aina paikalla vähintään kaksi aikuista, joko kaksi tutkijaa tai tutkija ja lapsen vanhempi. EEG-päähineessä (ActiCap, Brain Products GmbH, Gilching, Saksa) oli 32 aktiivikanavan lisäksi referenssikanava ja maadoituskanava (ks. [kuva 2](#)). Kanavien sijoitus noudatti kansainvälistä 10/20-järjestelmää. Yksittäisen kanavan jännite referoitiin eli mitattiin suhteessa kaikkien kanavien keskiarvoon. Aineisto kerättiin BrainProducts QuickAmp 10.08.14 -vahvistimella ja BrainVision Recorder 1.20.0801 -ohjelmistolla (BrainProducts GmbH, Gilching, Saksa). Vahvistimen näytteenottotaajuus oli 500 Hz ja mittauksen aikainen alipäästösuodatus oli 100 Hz.

Mittauksen aikana lapsi istui nojatuolissa joko tutkijan tai vanhemman sylissä katsoen äänetöntä lastenohjelmaa. Tutkija tarkkaili EEG-aineiston laatua sekä kameran välityksellä lapsen liikkeitä, puhumista ja ääntelyä ja kirjasi huomiot pöytäkirjaan. Lisäksi erityisesti aineiston laatuun vaikuttavat lapsen suun liikkeet, kasvojen kosketukset sekä laajat liikkeet merkittiin numerokoodein EEG-aineistoon. Äänisarjat esitettiin noin 65 dB voimakkuudella

kahdesta Genelec-kaiuttimesta, jotka oli asetettu tuolia kohti noin 160 cm etäisyydelle lapsesta. Äänet esitettiin Presentation 17.2 -ohjelmistolla (Neurobehavioural Systems Ltd., Berkeley, CA, USA). Äänisarjojen välillä pidettiin tarpeen mukaan lyhyitä taukoja. Mittaus valmisteluineen kesti noin 1.5 tuntia.



Kuva 2. Kanavien sijoittelu EEG-päähineessä sekä kanava-alueet F ja C.

2.3.3 EEG-aineiston alkukäsittely

EEG-aineiston alkukäsittelyyn sekä keskiarvokäyrien kuvaajien muodostamiseen käytettiin seuraavia ohjelmistoja: MATLAB 2017a, Statistics Toolbox Release 2012a, EEGLAB Toolbox v12.0.2.5b (Free Software Foundation, Inc., Boston, Yhdysvallat), ERPLAB Toolbox v7.0.0 ja CBRUPlugin v2.0b (Tommi Makkonen, Helsinki, Suomi). Ensimmäiseksi aineistosta poistettiin manuaalisesti sellaiset ajanjaksot, joihin aineistossa oli selkeää häiriötä visuaalisen tarkastelun perusteella. Tarkastelun tukena käytettiin mittauspöytäkirjoja sekä aineistoon tallennettuja numerokoodia suun liikkeistä, kasvojen kosketuksista ja laajoista liikkeistä. Jatkotarkasteluun aineistosta suodatettiin 0.5-25 Hz taajuuskaista. Signaali uudelleenreferoitiin lähtökohtaisesti kahden korvan takana (P7, P8) ja kahden pään takaosassa sijaitsevan kanavan (LM, RM) keskiarvoon. Kanavat P7–P8 ja LM–RM ovat

toistensa vastinparit eli sijaitsevat samassa kohdassa pään vasemmalla ja oikealla puoliskolla. Jos jokin neljästä referenssikanavasta oli selkeästi rikki tai irronnut (ei signaalia tai signaalissa jatkuvaa yli 200 μV häiriötä), niin kanava sekä sen vastinpari poissuljettiin ja signaali referoitiin ainoastaan yhden kanavaparin keskiarvoon ($n = 6$). Jos jonkin keskisen kanavan (ks. [kuva 2](#)) signaalissa oli jatkuvaa, muista kanavista poikkeavaa häiriötä, kanavan signaali interpoloitiin eli korvattiin laskennallisesti muiden kanavien signaalin perusteella. Interpoloinnissa jätettiin huomiotta sellaiset syrjäiset kanavat (ks. [kuva 2](#)), joiden signaali oli selkeästi heikkolaatuista. Jotta interpoloitavia kanavia ei olisi liikaa suhteessa interpoloinnissa käytettyihin kanaviin, oli interpoloitavia kanavia korkeintaan kaksi ja interpoloitavia ja huomiotta jätettyjä kanavia yhteensä korkeintaan kuusi.

Jokaisen äänisarjan aineistolle suoritettiin *independent component analysis* (ICA), jonka muodostamista komponenteista poistettiin ne, jotka graafisen tarkastelun perusteella vastasivat silmän liikkeitä, räpsäytyksiä tai pulssia. Äänisarjojen aineisto yhdistettiin ja signaali pilkottiin jaksoihin 100 ms ennen ärsykkeen alkua ja 840 ms ärsykkeen alun jälkeen. Signaalin perustaso korjattiin ärsykkeen alkua edeltävän 100 ms ajanjakson keskiarvovoimakkuudeksi. Aineistosta poistettiin automaattisesti ne jaksot, joiden aikana signaalin voimakkuus silmien ylle asetetuilla Fp1- ja Fp2-kanavilla oli suurempaa kuin $\pm 120 \mu\text{V}$. Lisäksi poistettiin ne jaksot, joissa jonkin kanavan vaihtelu oli suurempaa kuin ± 3 keskihajontaa kyseiseen jaksoon tai koehenkilön koko aineistoon nähden sekä ne jaksot, joissa kanavan voimakkuudessa oli yli 100 μV ero ajanjakson alku- ja loppukohdan välillä. ICA-komponenttien ja automaattisessa häiriön poistossa ei huomioitu niitä syrjäisiä kanavia (ks. [kuva 2](#)), joita ei signaalin heikon laadun vuoksi hyödynnetty myöskään interpoloinnissa.

2.3.4 Komponenttien määrittäminen

Jatkotarkasteluun sisällyttiin ne osallistujat, joilla ärsykekohtaisia toistomääriä oli kahdessa poikkeavassa ärsykkeessä vähintään 40. Toistomäärät eri ärsykeille on esitetty ryhmittäin [taulukossa 1](#). Toistomäärät eivät eronneet ryhmien välillä. Ärsykkeeseen liittyvän vasteen laskemiseksi kunkin ärsykkeen toistot keskiarvoistettiin erikseen jokaiselle lapselle ja jokaiselle kanavalle. Ne vakioärsykkeeseen liittyvät EEG-jaksot poistettiin, jotka välittömästi seurasivat poikkeavan ärsykkeen esittämistä. Signaali-kohinasuhteen parantamiseksi päänpinnan frontaalisten (F3, Fz, F4) ja keskeisten (C3, Cz ja C4) kanavien joukosta

muodostettiin keskiarvoistamalla kanava-alueet F ja C. Seuraavaksi kuvatut vasteiden graafiset tarkastelut on toteutettu molemmille kanava-alueille.

Kuhunkin ärsykkeeseen liittyvien vasteiden komponentit ja niiden aikaikkunat määriteltiin ryhmäkohtaisten keskiarvokäyrien graafisen tarkastelun perusteella. Poikkeavien ärsykkeiden vasteita tarkasteltiin erotuskäyrästä, jotka muodostettiin vähentämällä poikkeavalle ärsykkeelle syntyneestä vasteesta vakioärsykkeen vaste. Erotuskäyrissä signaalin perustaso korjattiin vastaamaan sen 100 ms ajanjakson keskiarvovoimakkuutta, joka edelsi poikkeavassa ärsykkeessä havaittavaa muutosta (vokaalin pituus 125–225 ms; äänenkorkeus ja vokaali 80–180 ms). Ryhmien keskiarvokäyrät eri ärsykkeille on esitetty [kuvassa 3](#). Vakioärsykkeen vasteesta erottui molemmille ryhmille ensimmäinen suuri positiivinen komponentti (P1) sekä myöhempi suuri negatiivinen komponentti (N1). Aiemmin rajatun kysymyksenasettelun mukaisesti tarkempaan tarkasteluun valittiin erotuskäyrässä ensimmäisenä selkeästi erottuvat MMR-komponentit. Molemmilla ryhmillä vasteen ensimmäinen selkeä komponentti oli vokaalin pituuden ja äänenkorkeuden muutoksen erotuskäyrissä negatiivinen ja vokaalin muutoksen erotuskäyrässä positiivinen. Ainoastaan vokaalin keston muutoksen negatiivista MMR-huippua seurasi molemmissa ryhmissä toinen positiivinen huippu.

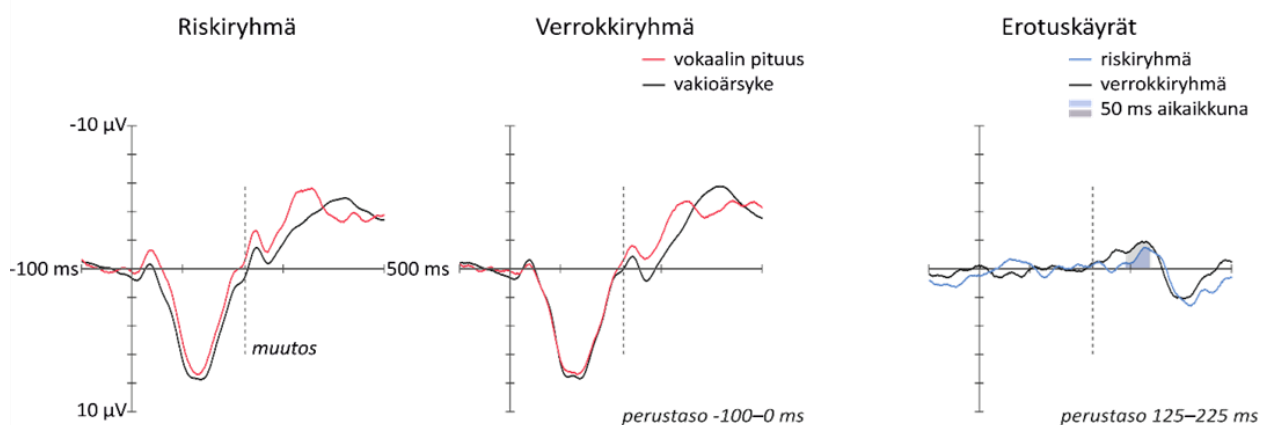
Taulukko 1. Toistomäärät eri ärsykkeille

	Riskiryhmä				Verrokkiryhmä			
	<i>ka</i>	%	<i>kh</i>	<i>vv</i>	<i>ka</i>	%	<i>kh</i>	<i>vv</i>
Vakioärsyke	424.61	32.1	94.82	227–570	409.50	30.9	108.41	227–613
Vokaalin kesto	86.64	54.0	21.80	40–121	84.77	52.8	22.16	47–127
Äänenkorkeus	87.32	54.4	18.86	48–119	84.50	52.7	22.11	46–130
Vokaali	85.70	53.5	19.78	41–114	83.58	52.1	23.68	39–124

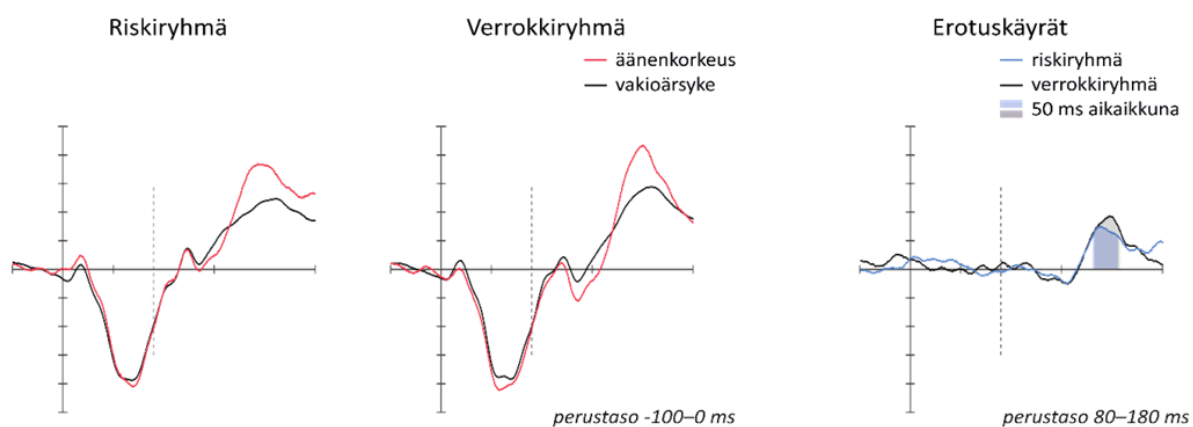
% = arvioitu suhteellinen osuus alkuperäisestä toistomäärästä, jos äänisarjoja mitattu neljä
ka = keskiarvo, *kh* = keskihajonta, *vv* = vaihteluväli

MMR-komponenttien aikaikkunat määriteltiin aluksi erotuskäyrän graafisen tarkastelun perusteella ja näistä aikaikkunoista poimittiin jokaisen osallistujan huippuvoimakkuuksien ajankohdat. Ajankohdat keskiarvoistettiin ryhmäkohtaisesti ja lopulliset aikaikkunat muodostettiin 25 ms ennen ja jälkeen ryhmäkeskiarvon. MMR-komponenttien arvot laskettiin keskiarvoistamalla erotuskäyrän voimakkuus tämän 50 ms aikaikkunan ajanjaksolta.

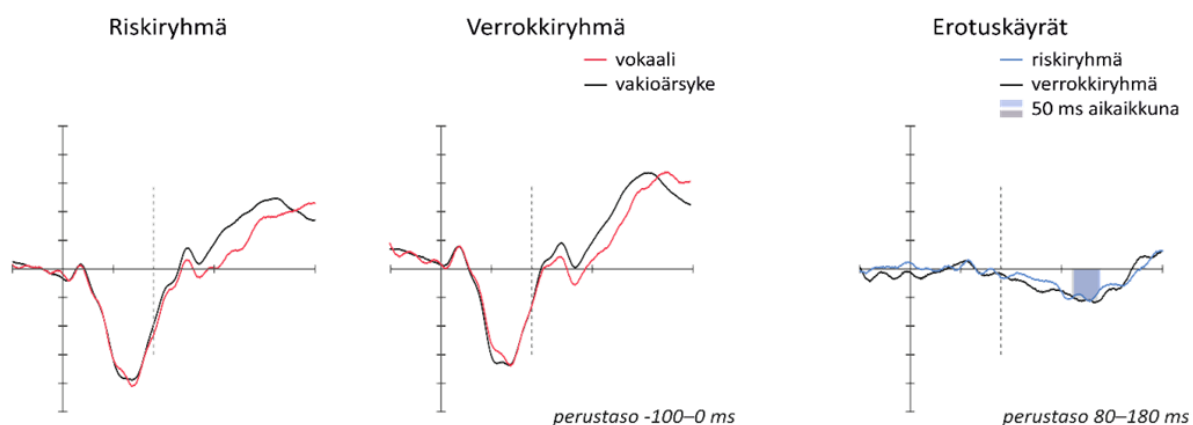
Vokaalin pituuden muutos /tata:/



Äänenkorkeuden muutos /tatä/



Vokaalin muutos /tato/



Kuva 3. Herätevastheet ja erotuskäyrät poikkeaville ärsykeille kanava-alueella F3-Fz-F4

Komponentin ryhmäkohtaiset keskiarvot olivat pääsääntöisesti suuremmat kanava-alueella F, joten tilastollisissa analyyseissä käytettiin ainoastaan kanava-alueen F komponentteja. Käytetyt aikaikkunat olivat vokaalin keston muutokselle riskiryhmässä 63–113 ms ja verrokkiryhmässä 66–116 ms, äänenkorkeuden muutokselle 182–232 ms ja 185–235 ms, ja vokaalin muutokselle 146–196 ms ja 141–191 ms ärsykkeen muutoksesta.

2.4 Tilastolliset analyysit

Tilastolliset analyysit suoritettiin IBM SPSS Statistics 25 -ohjelmalla. Puuttuvia arvoja oli 12 osallistujalla muuttujissa äidin koulutus (1), isän koulutus (4), puheen ymmärtäminen (1), kuutiotehtävä (1), kokoamistehtävä (1), sanavarasto (7) ja yleinen taitotaso (4). Puuttuvien arvojen välillä ei havaittu systemaattisuutta (*Little's MCAR-test* $X^2(51) = 55.75; p = .30$). Puuttuvat arvot korvattiin moni-imputoinnilla niin, että korvaava arvo oli kymmenen imputoidun arvon keskiarvo. Imputoinnissa käytettiin Markov chain Monte Carlo-menetelmää (20 iterointia), jossa puuttuva arvo ennustettiin regressiomallin avulla. Ennustajina olivat puuttuvia arvoja sisältävät muuttujat sekä lapsen ryhmä, sukupuoli ja puheen tuotto. Muuttujien tunnusluvut eivät merkittävästi muuttuneet moni-imputoinnin seurauksena.

Keskeiset muuttujat noudattivat sekä koko otoksessa että ryhmittäin graafisen tarkastelun perusteella likimain normaalijakaumaa. Tulkinallisuuden säilyttämiseksi muuttujamuunnoksia ei suoritettu, vaikka normalisuusoletus hylättiin Shapiro-Wilkin testissä puheen ymmärtämisen (verrokkiryhmässä $p = .02$; oikealle vino jakauma) ja sanavaraston kohdalla (riskiryhmässä $p = .02$; lattiaeefekti; verrokkiryhmässä $p = .003$; oikealle vino jakauma). Aineistossa ei havaittu huomattavia poikkeavia arvoja yksittäisten muuttujien suhteen (kriteerinä $z < 3.29$) tai komponenttien monimuuttujatarkastelussa Mahalanobisin etäisyyden perusteella.

Varsinaisissa analyyseissä keskeisinä taustamuuttujina kontrolloitiin vanhempien koulutustaso ja lapsen yleinen taitotaso. Vanhempien koulutustason kontrolloimiseksi muodostettiin äidin ja isän koulutusvuosien muuttujista yhdistelmämuuttuja, jossa muuttuja sai sen vanhemman koulutusvuosien arvon, jolla koulutusvuosia oli enemmän. Muuttuja oli graafisen tarkastelun perusteella likimain normaalijakautunut, vaikka normalisuusoletus hylättiin verrokkiryhmässä (Shapiro-Wilkin testi, $p = .01$; oikealle vino jakauma).

Jokaisen MMR-komponentin merkitsevyyttä testattiin yhden otoksen t-testillä vertaamalla komponentin keskiarvovoimakkuutta arvoon 0 erikseen kummallakin ryhmällä. Riski- ja verrokkiryhmän keskiarvoeroja MMR-komponenteissa tarkasteltiin tyypin I virheen kontrolloimiseksi monimuuttujakovarianssianalyysillä (MANCOVA), jossa riippuvina muuttujina olivat vokaalin keston, äänenkorkeuden ja vokaalin muutoksiin liittyvät MMR-komponentit. Analyyseissä kontrolloitiin vanhemman koulutusvuodet sekä lapsen yleinen taitotaso. Efektikoon arvioimiseksi ryhmävertailussa laskettiin eta-neliö η^2 . Ryhmien kovarianssimatriisit olivat yhtä suuret (Boxin testi, $p = .34$). Ryhmien virhevarianssit olivat yhtä suuret vokaalin keston komponentissa (Levenen testi, $p = .58$) sekä äänenkorkeuden komponentissa ($p = .65$). Vokaalin muutoksen komponentissa oletus virhevarianssien yhtäsuuruudesta hylättiin testauksessa ($p = .10$), mutta jäännöstermien graafisen tarkastelun perusteella huomattavaa heteroskedastisuutta ei ollut. Koska hyvin voimakas tai heikko yhteisvaihtelu riippuvien muuttujien välillä vaikuttaa analyysin voimakkuuteen havaita todellisia ryhmäeroja, tarkasteltiin MMR-komponenttien keskinäisiä osittaiskorrelaatioita, kun ryhmämuuttuja oli kontrolloitu (ks. [taulukko 2](#)). Vokaalin pituuden ja äänenkorkeuden muutosten MMR-komponenttien välinen korrelaatio oli keskisuuri, mutta vokaalin muutoksen MMR-komponentin korrelaatiot muihin komponentteihin olivat huomattavan pieniä, mikä heikentää analyysin voimakkuutta. Mahdollisten ryhmäerojen jatkotarkastelussa käytettiin yksittäisille MMR-komponenteille erillisiä kovarianssianalyysejä (ANCOVA), joissa kontrolloitiin lapsen yleinen taitotaso sekä vanhemman koulutus. Tyypin I virheen todennäköisyyden kasvu kontrolloitiin p-arvojen Bonferroni-korjauksella.

Taulukko 2. MMR-komponenttien väliset osittaiskorrelaatiot

	MMR – Vokaalin pituus		MMR - Äänenkorkeus	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
MMR – Äänenkorkeus	.26	.06		
MMR – Vokaali	.06	.68	-.01	.95

Ryhmämuuttuja kontrolloitu

Usean selittäjän lineaarisen regressioanalyysin avulla selvitettiin, selittääkö vaihtelu MMR-komponenttien voimakkuudessa lasten kielellisten kykyjen vaihtelua. Puheen ymmärtämiselle, tuotolle ja sanavaraston laajuudelle tehtiin erilliset regressiomallit. Malleissa kontrolloitiin lapsen yleinen taitotaso sekä vanhemman koulutusvuosien määrä.

Kontrolloitavat tekijät säilytettiin mallissa niiden teoreettisen relevanssin vuoksi myös silloin, kun ne eivät olleet tilastollisesti merkitseviä selittäjiä. Regressioanalyysissä hyödynnettiin koko aineistoa. Ryhmämuuttuja sekä yhdysvaikutukset ryhmän ja MMR-komponenttien välillä lisättiin malliin perhetaustaisen riskin mahdollisen vaikutuksen kontrolloimiseksi sekä sen selvittämiseksi, onko yhteys komponentin ja riippuvan muuttujan välillä samanlainen molemmilla ryhmillä. Aiemman kirjallisuuden perusteella ei voitu muodostaa hypoteeseja siitä, selittääkö tietyn puheen piirteen havaitseminen varhaisia kielellisiä taitoja paremmin kuin toisten. Koska otoskoko ($N = 54$) ei ollut riittävä kaikkien MMR-komponenttien pää- ja yhdysvaikutusten samanaikaiseen tarkasteluun, lisättiin analyysin ensimmäisessä vaiheessa jokainen MMR-komponentti sekä sen ryhmäyhdysvaikutus malliin yksittäin kontrolloitavien tekijöiden jälkeen (Mallit a-c). Seuraavassa vaiheessa malliin sisällytettiin ne MMR-komponentit, jotka selittivät riippuvaa muuttujaa parhaiten (Malli d). Otoskoko ($N = 54$) ei ollut riittävä yksittäisten regressiokertoimien tilastollisen merkitsevyyden luotettavaan tulkittamiseen, joten kertoimien merkitsevyydestä tuloksia arvioitiin viitteellisesti. Arvio mallin sopivuudesta ja selittävien tekijöiden säilyttämisestä tehtiin ensisijaisesti koko mallin ja selitysasteen muutoksen tilastollisen merkitsevyyden perusteella. Efektikoon mittarina käytettiin koko mallin selitysastetta arvioitaessa muuttujien määrään suhteutettua selitysastetta (R^2_{adj}). Selitysasteen muutosta (ΔR^2) sekä yksittäisten muuttujien itsenäistä selitysosuutta (R^2) arvioitaessa käytettiin suhteuttamattomia selitysasteita.

3. Tulokset

3.1 Keskeiset taustatekijät ja kognitiiviset taidot

Keskeisten taustatekijöiden ja kognitiivisten taitojen tunnusluvut on esitetty ryhmittäin [taulukossa 3](#). Ryhmät eivät eronneet toisistaan keskeisten taustamuuttujien, yleisen taitotason tai puheen ymmärtämisen ja tuoton suhteen. Verrokkiryhmällä sanavaraston laajuus oli keskimäärin 88.65 sanaa riskiryhmää suurempi ja ero oli tilastollisesti merkitsevä sekä parametrisessä ($F(1, 51) = 5.62; p = .02, \eta^2 = .10$) että ei-parametrisessä analyysissä (Mann-Whitney U; $p = .02$).

Taulukko 3. Taustatekijöiden ja kognitiivisten taitojen tunnusluvut ryhmittäin

	Riskiryhmä		Verrokkiryhmä		<i>ka</i> erotus	<i>p</i>
	<i>ka</i>	<i>kh</i>	<i>ka</i>	<i>kh</i>		
Syntymäpaino grammoina	3637.04	355.03	3666.46	510.47	-29.42	.81
Raskauden kesto päivissä	282.07	6.72	281.67	8.33	0.4	.85
Vanhemman koulutus vuosina	18.51	2.37	18.33	2.44	0.18	.78
Ikä päivissä						
taitojen arvioinnissa	837.00	11.93	841.85	11.78	-5.96	.14
EEG-mittauksessa	841.43	12.46	847.81	11.83	-5.53	.06
Visuospatiaaliset taidot ^a	16.46	7.28	16.11	7.77	0.35	.87 ^b
Yleinen taitotaso ^a	440.91	53.76	448.08	59.37	-7.17	.60 ^b
Puheen ymmärtäminen ^a	29.57	7.53	30.50	11.86	-0.93	.67 ^b
Puheen tuotto ^a	10.18	6.16	12.88	6.82	-2.70	.12 ^b
Sanavarasto ^a	311.55	155.19	400.20	136.49	-88.65	.02 ^b

^a Varianssianalyysissä kontrolloitu vanhemman koulutus

^b Bonferroni-korjaus

ka = keskiarvo, *kh* = keskihajonta

3.2 MMR-komponenttien merkitsevyys ja ryhmäerot

MMR-komponentit kaikille kolmelle poikkeavalle ärsykkeelle olivat tilastollisesti merkitseviä sekä riski- että verrokkiryhmällä. Komponenttien tunnusluvut on esitetty ryhmittäin [taulukossa 4](#). Komponentti oli suurimmalla osalla lapsista negatiivinen vokaalin keston muutokselle (riskiryhmässä 17/26, verrokkiryhmässä 17/28) ja äänenkorkeuden muutokselle (riskiryhmässä 22/26, verrokkiryhmässä 23/28). Vokaalin muutoksen MMR-komponentti oli useimmilla lapsilla positiivinen (riskiryhmässä 17/26, verrokkiryhmässä 19/28). Ryhmällä ei ollut tilastollisesti merkitsevää päävaikutusta MMR-komponenttien voimakkuuteen monimuuttuja-analyysissä ($F(3, 48) = 0.14$; $p = .94$; $\eta^2 = .01$) tai yksittäisten komponenttien parittaisissa vertailuissa (vokaalin pituus $F(1, 50) = 0.41$; $p = .53$; äänenkorkeus $F(1, 50) = 0.02$; $p = .88$; vokaali $F(1, 50) = 0.01$; $p = .91$).

Taulukko 4. MMR-komponenttien voimakkuuden (μV) tunnusluvut ryhmittäin

	riskiryhmä			verrokkiryhmä			ka erotus
	ka	kh	vv	ka	kh	vv	
MMR vokaalin kesto	-1.07*	2.65	-6.50 – 2.78	-1.58**	3.11	-8.44 – 4.67	-0.51
MMR äänenkorkeus	-2.90***	3.54	-8.78 – 5.01	-3.05***	3.58	-8.66 – 4.55	-0.15
MMR vokaali	1.80**	2.78	-3.45 – 9.13	1.83*	4.10	-6.23 – 10.22	-0.03

Komponentin voimakkuus eroaa *5 %:n, **1 %:n tai ***0,1 %:n riskitasolla arvosta 0

ka = keskiarvo, kh = keskihajonta, vv = vaihteluväli

3.3 MMR kielellisten kykyjen vaihtelun selittäjinä

Puheen ymmärtämisen vaihtelua selittävät regressiomallit on esitetty taulukossa 5 (Mallit 1a-c). Mallissa kontrolloitiin ryhmä (1 = riskiryhmä), lapsen yleinen taitotaso sekä vanhemman koulutusvuodet, jotka yksistään selittivät 12.4 % puheen ymmärtämisen vaihtelusta. MMR-komponenteista ainoastaan MMR:llä vokaalin keston muutokselle oli merkitsevä pää- ja ryhmäyhdysvaikutus puheen ymmärtämiseen (Malli 1a). Malli selitti 22.5 % vaihtelusta ja oli tilastollisesti merkitsevä ($F(5, 48) = 4.08$; $p = .004$). Negatiivisempi (suurempi) MMR vokaalin keston muutokselle oli verrokkiryhmällä yhteydessä korkeampaan puheen ymmärtämisen pistemäärään ($\beta = -.46$; $t = -2.79$; $p = .01$), mutta ryhmäyhdysvaikutuksen seurauksena riskiryhmällä ei havaittu vastaavaa yhteyttä ($\beta = .43$; $t = 2.49$; $p = .02$). MMR:llä äänenkorkeuden muutokselle (Malli 1b; $F(5, 48) = 2.07$; $p = .09$) tai vokaalin muutokselle (Malli 1c; $F(5, 48) = 2.03$; $p = .09$) ei ollut merkitsevää päävaikutusta (äänenkorkeus $\beta = .03$; $t = 0.14$; $p = .89$; vokaali $\beta = .02$; $t = 0.13$; $p = .90$) tai ryhmäyhdysvaikutusta (äänenkorkeus $\beta = -.08$; $t = -0.39$; $p = .70$; vokaali $\beta = -.002$; $t = -0.01$; $p = .99$) puheen ymmärtämisen vaihteluun. Sopivimmaksi malliksi arvioitiin Malli 1a, jonka selitysaste oli 4.3 % suurempi kuin ainoastaan kontrolloitavat tekijät sisältävän mallin ja muutos selitysasteessa oli tilastollisesti merkitsevä ($F(2, 48) = 4.26$; $p = .02$). Mallin 1a kuvaajat ryhmittäin sekä puheen ymmärtämisen ja vokaalin keston muutoksen MMR:n hajontakuvio on esitetty kuvassa 4.

Taulukko 5. Puheen ymmärtämisen vaihtelua selittävät regressiomallit

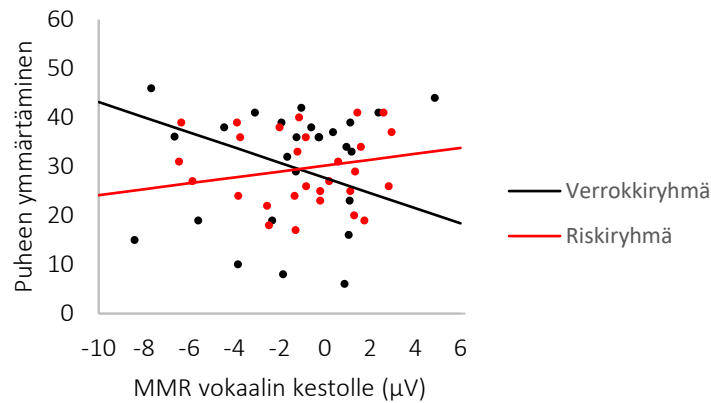
	Kovariaatit				Malli 1a ^a				Malli 1b				Malli 1c			
	R^2 adj.		12.4 %		R^2 adj.		22.5 %		R^2 adj.		9.1 %		R^2 adj.		8.8 %	
	p		.02		p		.004		p		.09		p		.09	
	ΔR^2		4.3 %		ΔR^2		0.3 %		ΔR^2		0.3 %		ΔR^2		< 0.1 %	
	Δp		.02		Δp		.91		Δp		.91		Δp		.99	
	B	kv	β	p	B	kv	β	p	B	kv	β	p	B	kv	β	p
Vakio	-9.49	12.87		.46	-6.50	12.44		.60	-10.03	13.47		.46	-9.61	13.16		.47
Riskiryhmä	-0.64	2.50	-.03	.80	2.49	2.61	.13	.35	-1.46	3.34	-.08	.66	-0.61	2.92	-.03	.84
Yleinen taitotaso	0.06	0.02	.34	.01	0.06	0.02	.33	.01	0.06	0.02	.35	.01	0.06	0.02	.34	.01
Vanhemman koulutus	0.73	0.54	.19	.18	0.48	0.52	.12	.36	0.75	0.55	.18	.18	0.72	0.55	.18	.12
MMR vokaalin kesto					-1.55	0.56	-.46	.01								
* Riskiryhmä					2.15	0.86	.43	.02								
MMR äänenkorkeus									0.07	0.52	.03	.89				
* Riskiryhmä									-0.23	0.73	-.08	.70				
MMR vokaali													0.06	0.46	.02	.90
* Riskiryhmä													-0.11	0.79	-.002	.99

R^2 adj. = selittävien muuttujien määrään suhteutettu mallin selitysaste

ΔR^2 = suhteuttamattoman selitysasteen muutos suhteessa malliin, jossa selittäjinä vain kovariaatit

B = standardoimaton regressiokerroin, kv = kertoimen keskivirhe, β = standardoitu regressiokerroin

^a Sopivimmaksi arvioitu malli

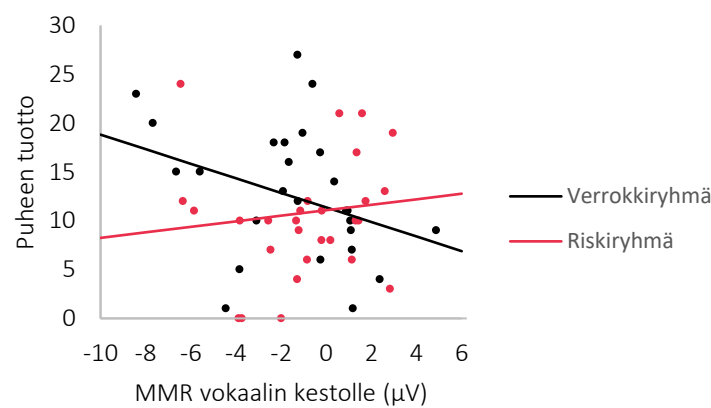


Kuva 4. Puheen ymmärtämisen ja vokaalin keston muutoksen MMR:n hajontakuva sekä Mallin 1a kuvaajat ryhmittäin

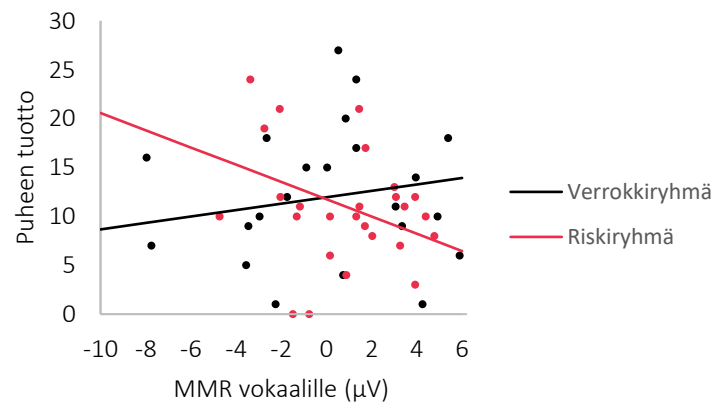
Puheen tuoton vaihtelua selittävät regressiomallit on esitetty [taulukossa 6](#) (Mallit 2a-d). Kontrolloitavat tekijät selittivät 11.0 % vaihtelusta. Vokaalin keston muutoksen malli selitti 14.0 % vaihtelusta (Malli 2a; $F(5, 48) = 2.72$; $p = .03$). Vokaalin keston muutokselle syntyvän MMR:n kohdalla havaittiin tilastollisesti ei-merkittävä trendi, jossa negatiivisempi (suurempi) MMR-komponentti oli yhteydessä korkeampaan pistemäärään ($\beta = -.33$; $t = -1.92$; $p = .06$). Riskiryhmällä vastaavaa yhteyttä ei havaittu, mutta ryhmäyhdysvaikutus ei ollut tilastollisesti merkittävä ($\beta = .25$; $t = 1.39$; $p = .17$). Vokaalin muutoksen malli selitti vaihtelusta 16.7 % (Malli 2c; $F(5, 48) = 3.13$; $p = .02$). MMR:llä vokaalin muutokselle havaittiin tilastollisesti merkittävä ryhmäyhdysvaikutus ($\beta = -.39$; $t = -2.32$; $p = .03$). Riskiryhmässä positiivisempi (suurempi) MMR vokaalin muutokselle oli yhteydessä alhaisempaan puheen tuoton pistemäärään. Komponentilla ei ollut tilastollisesti merkittävää päävaikutusta ($\beta = .18$; $t = 1.16$; $p = .25$), eli verrokkiryhmällä vastaavaa yhteyttä ei havaittu. Äänenkorkeuden muutoksen malli selitti 9.3 % vaihtelusta (Malli 2b; $F(5, 48) = 2.08$; $p = .08$). MMR:llä äänenkorkeuden muutokselle ei ollut tilastollisesti merkittävää päävaikutusta ($\beta = .19$; $t = 1.01$; $p = .32$) tai ryhmäyhdysvaikutusta ($\beta = -.18$; $t = -0.83$, $p = .41$) puheen tuoton vaihteluun.

Puheen tuoton viimeiseen malliin lisättiin sekä vokaalin keston että vokaalin muutoksen MMR-komponenttien pää- ja ryhmäyhdysvaikutukset (Malli 2d; $R^2 = 20.4$ %; $F(7, 46) = 2.94$; $p = .01$). Mallin selitysaste oli 14.8 % korkeampi kontrolloituuihin tekijöihin nähden ja tämä muutos selitysasteessa läheni tilastollista merkittävyyttä ($F(4, 46) = 2.47$; $p = .06$). Vokaalin keston MMR ei ollut mallissa tilastollisesti merkittävä, mutta havaitun trendin mukaan negatiivisempi (suurempi) MMR vokaalin keston muutokselle oli verrokkiryhmällä yhteydessä korkeampaan pistemäärään ($\beta = -.33$, $t = -1.97$; $p = .06$). Riskiryhmällä vastaavaa

yhteyttä ei havaittu ($\beta = .31$; $t = 1.73$; $p = .09$). MMR vokaalin muutokselle ei ollut yhteydessä puheen tuottoon verrokkiryhmällä ($\beta = .17$; $t = 1.14$; $p = .26$), mutta riskiryhmällä positiivisempi (suurempi) MMR-komponentti vokaalin muutokselle oli yhteydessä heikompaan puheen tuoton pistemäärään ja tämä ryhmäyhdysvaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ($\beta = -.40$; $t = -2.41$; $p = .02$). Mallin 2d kuvaajat ryhmittäin on esitetty [kuvissa 5a](#) (vokaalin keston muutoksen ja puheen tuoton hajontakuva sekä ryhmäyhdysvaikutus) ja [5b](#) (vokaalin muutoksen ja puheen tuoton hajontakuva sekä ryhmäyhdysvaikutus).



Kuva 5a. Puheen tuoton ja vokaalin keston muutoksen MMR:n hajontakuva sekä Mallin 2d kuvaajat ryhmittäin



Kuva 5b. Puheen tuoton ja vokaalin muutoksen MMR:n hajontakuva sekä Mallin 2d kuvaajat ryhmittäin

Taulukko 6. Puheen tuoton vaihtelua selittävät regressiomallit

	Kovariaatit				Malli 2a				Malli 2b				Malli 2c				Malli 2d ^a			
	R^2 adj.	11.0 %			R^2 adj.	14.0 %			R^2 adj.	9.3 %			R^2 adj.	16.7 %			R^2 adj.	20.4 %		
	p	.03			p	.03			p	.08			p	.02			p	.01		
					ΔR^2	6.0 %			ΔR^2	1.8 %			ΔR^2	8.5 %			ΔR^2	14.8 %		
					Δp	.17			Δp	.60			Δp	.08			Δp	.06		
	B	kv	β	p	B	kv	β	p	B	kv	β	p	B	kv	β	p	B	kv	β	p
Vakio	-9.16	8.72		.30	-8.60	8.81		.33	-8.15	8.98		.37	-9.51	8.45		.27	-8.07	8.50		.35
Riskiryhmä	-2.53	1.69	-.19	.14	-1.22	1.85	-.09	.51	-3.76	2.25	-.29	.10	-0.41	1.88	-.03	.83	1.15	2.03	.09	.58
Yleinen taitotaso	0.03	0.02	.29	.03	0.03	0.02	.29	.03	0.03	0.02	.29	.03	0.03	0.02	.28	.04	0.03	0.02	.27	.04
Vanhemman koulutus	0.37	0.36	.14	.31	0.29	0.37	.11	.44	0.37	0.37	.13	.33	0.40	0.36	.15	.27	0.29	0.36	.10	.43
MMR vokaalin kesto					-0.76	0.39	-.33	.06									-0.75	0.38	-.33	.06
* Riskiryhmä					0.85	0.61	.25	.17									1.03	0.59	.31	.09
MMR äänenkorkeus									0.35	0.35	.19	.32								
* Riskiryhmä									-0.41	0.49	-.18	.41								
MMR vokaali													0.34	0.29	.18	.25	0.33	0.29	.17	.26
* Riskiryhmä													-1.18	0.51	-.39	.03	-1.21	0.50	-.40	.02

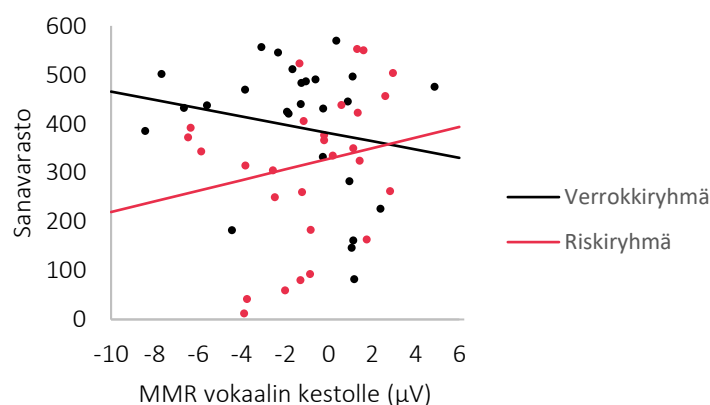
R^2 adj. = selittävien muuttujien määrään suhteutettu mallin selitysaste

ΔR^2 = suhteuttamattoman selitysasteen muutos suhteessa malliin, jossa selittäjinä vain kovariaatit

B = standardoimaton regressiokerroin, kv = kertoimen keskivirhe, β = standardoitu regressiokerroin

^a Sopivimmaksi arvioitu malli

Sanavaraston vaihtelua selittävät regressiomallit on esitetty [taulukossa 7](#) (Mallit 3a-c). Kontrolloitavat tekijät selittivät 50.8 % vaihtelusta. Minkään MMR-komponentin lisääminen malliin ei merkitsevästi parantanut mallin selitysstettä. Ainoastaan vokaalin kestolle syntyvän MMR:n kohdalla havaittiin tilastollisesti ei-merkitsevä trendi, jonka mukaan riskiryhmässä positiivisempi (pienempi) MMR oli yhteydessä korkeampaan pistemäärään ($\beta = .25$; $t = 1.84$; $p = .07$). Tämä yhdysvaikutus on esitetty [kuvassa 6](#). Verrokkiryhmässä vastaavaa yhteyttä ei havaittu, mutta päävaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($\beta = -.16$; $t = -1.25$; $p = .22$). Malli selitti 52.1 % vaihtelusta (Malli 3a; $F(5, 48) = 12.54$; $p < .001$). MMR:llä äänenkorkeuden muutokselle (Malli 3b; $F(5, 48) = 11.44$; $p < .001$) tai vokaalin muutokselle (Malli 3c; $F(5, 48) = 11.85$; $p < .001$) ei havaittu merkitsevää päävaikutusta (äänenkorkeus $\beta = .13$; $t = .91$; $p = .37$; vokaali $\beta = .13$; $t = 1.09$; $p = .28$) tai ryhmäyhdysvaikutusta (äänenkorkeus $\beta = -.11$; $t = -.65$; $p = .52$; vokaali $\beta = -.16$; $t = -1.25$; $p = .22$) sanavaraston vaihteluun.



Kuva 6. Sanavaraston ja vokaalin keston muutoksen MMR:n hajontakuva sekä Mallin 3a kuvaajat ryhmittäin

Taulukko 7. Sanavaraston vaihtelua selittävät regressiomallit

	Kovariaatit				Malli 3a ^a				Malli 3b				Malli 3c			
	<i>R</i> ² <i>adj.</i>				<i>R</i> ² <i>adj.</i>				<i>R</i> ² <i>adj.</i>				<i>R</i> ² <i>adj.</i>			
	50.8 %				52.1 %				49.6 %				50.6 %			
	<i>p</i>				<i>p</i>				<i>p</i>				<i>p</i>			
	< .001				< .001				< .001				< .001			
					ΔR^2				ΔR^2				ΔR^2			
					3.0 %				0.8 %				1.7 %			
					Δp				Δp				Δp			
	<i>B</i>	<i>kv</i>	β	<i>p</i>	<i>B</i>	<i>kv</i>	β	<i>p</i>	<i>B</i>	<i>kv</i>	β	<i>p</i>	<i>B</i>	<i>kv</i>	β	<i>p</i>
Vakio	-529.51	149.90		.001	-479.84	151.91		.003	-511.09	154.64		.002	-537.64	150.51		.001
Riskiryhmä	-78.12	29.11	-.26	.01	-52.79	31.94	-.18	.11	-94.89	38.67	-.32	.02	-57.55	33.42	-.19	.09
Yleinen taitotaso	1.70	0.27	.63	< .001	1.67	0.26	.62	< .001	1.70	0.27	.63	< .001	1.70	0.27	.63	< .001
Vanhemman koulutus	9.17	6.26	.14	.15	6.41	6.38	.10	.32	8.99	6.37	.14	.17	9.02	6.32	.14	.16
MMR vokaalin kesto					-8.47	6.78	-.16	.22								
* Riskiryhmä					19.34	10.53	.25	.07								
MMR äänenkorkeus									5.49	6.03	.13	.37				
* Riskiryhmä									-5.51	8.44	-.11	.52				
MMR vokaali													5.71	5.23	.13	.28
* Riskiryhmä													-11.30	9.04	-.16	.22

*R*² *adj.* = selittävien muuttujien määrään suhteutettu mallin selitysaste

ΔR^2 = suhteuttamattoman selitysasteen muutos suhteessa malliin, jossa selittäjinä vain kovariaatit

B = standardoimaton regressiokerroin, *kv* = kertoimen keskivirhe, β = standardoitu regressiokerroin

^a Sopivimmaksi arvioitu malli

4. Pohdinta

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, liittyykö perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin kahden vuoden iässä epätyypillistä puheäänten erottelua MMR-komponenttien ilmentämänä sekä sitä, miten puheäänten erottelu selittää varhaisia kielellisiä taitoja riski- ja verrokkiryhmässä. Molemmissa ryhmissä havaittiin merkitsevä MMR-komponentti kaikille tarkasteltaville puheen piirteille eikä ryhmien välillä ollut eroa MMR-komponenttien voimakkuudessa. Vokaalin keston sekä äänenkorkeuden muutokselle erotuskäyrässä ensimmäisenä erottuva MMR oli negatiivinen, kun taas vokaalin muutokselle MMR oli positiivinen. MMR-komponentit selittivät sekä puheen ymmärtämisen että tuoton vaihtelua, mutta eri tavoin riski- kuin verrokkiryhmissä. Ymmärtävän kielen taitoja selitti parhaiten malli, jossa negatiivisempi MMR vokaalin keston muutokselle oli yhteydessä korkeampaan pistemäärään verrokkiryhmässä, mutta vastaavaa yhteyttä ei havaittu riskiryhmässä. Tuottavan kielen taitoja puolestaan selitti malli, jossa ainoastaan verrokkiryhmässä negatiivisempi (suurempi) MMR vokaalin keston muutokselle oli yhteydessä korkeampaan pistemäärään ja ainoastaan riskiryhmässä positiivisempi (suurempi) MMR vokaalin muutokselle oli yhteydessä matalampaan pistemäärään. Sanavaraston vaihtelua MMR-komponentit eivät selittäneet.

4.1 MMR-komponentit

Havaittujen MMR-komponenttien perusteella näyttäisi siltä, että kaksivuotiaat lapset kykenevät erottelemaan puheenpiirteiden muutoksia automaattisen tiedonkäsittelyn tasolla. Havaitsemisen kypsymisessä vaikuttaisi kuitenkin olevan eroja eri puheen piirteiden välillä. Kuten Thieden ym. (2019) tutkimuksessa vastasyntyneillä, myös kahden vuoden iässä vokaalin muutoksen erottelu näyttää positiivisen MMR-vasteen perusteella olevan vokaalin keston ja äänenkorkeuden muutoksen erottelua haastavampi tehtävä. Sen sijaan vokaalin keston ja äänenkorkeuden muutosten varhaisin MMR oli negatiivinen sekä Thieden ym. (2019) tutkimuksessa verrokkiryhmän vastasyntyneillä että tässä tutkimuksessa molemmilla ryhmillä kaksivuotiaana. Kaksivuotiailla vokaalin keston ja äänenkorkeuden muutosten herätevasteet eivät kuitenkaan visuaalisen tarkastelun perusteella muistuttaneet toisiaan. Ainoastaan vokaalin keston muutoksen herätevasteeseen liittyi ensimmäisen, hyvin varhaisen negatiivisen MMR-komponentin lisäksi myöhempi positiivinen komponentti, joka ajoitukseltaan vertautuu paremmin aikuisilla havaittavaan MMN-komponenttiin. Myös aiemmin tutkittaessa eri-ikäisiä lapsia poikkileikkausasetelmalla on havaittu, että MMR-

komponentin kypsymiseen voi liittyä vaihe, jossa positiivinen ja negatiivinen komponentti ilmenevät yhtä aikaa paitsi vauvaiässä (Trainor ym., 2003), myös leikki-iässä (Shafer ym., 2010). On siis mahdollista, että nyt kaksivuotiailla havaittu sekä negatiivisesta että positiivisesta komponentista koostuva MMR vokaalin pituuden muutokselle ilmentää kuulohavainnon kypsymättömyyttä. Näin tulkittuna tulokset viittaisivat siihen, että äänenkorkeuden muutoksen erottelu kypsyy nopeammin kuin vokaalin pituuden ja vokaalin muutoksen, jotka suomen kielessä ovat foneemisia eli semanttista merkitystä välittäviä muutoksia.

Eroa MMR-komponenteissa ei havaittu riski- ja verrokkiryhmän välillä, mikä on ristiriidassa useiden aiempien havaintojen kanssa (Guttorm ym., 2001, 2003; Leppänen ym., 2010; Plakas ym., 2013; Thiede ym., 2019; van Leeuwen ym., 2008; van Zuijen ym., 2012, 2013). Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ainoastaan MMR-komponentin voimakkuuden ryhmäeroja, eikä kaikissa tutkimuksissa eroa olekaan havaittu voimakkuudessa, vaan esimerkiksi komponentin kestossa ja päänpinnan jakaumassa (van Leeuwen ym., 2008). Lisäksi on viitteitä siitä, ettei perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin liittyisi puheäänten varhaisen erottelun poikkeavuutta, vaan poikkeavuus liittyisi havaitsemisen myöhempään vaiheeseen, jota ilmentää MMR-komponentin sijaan myöhäinen poikkeavuusnegatiivisuus (engl. *late discriminative negativity*, LDN; Halliday, Barry, Hardiman & Bishop, 2014; Neuhoff ym., 2012). LDN-komponentin on myös osoitettu selittävän myöhempiä lukemisen ja kirjoittamisen taitoja esikoululaisilla, joilla on perhetaustainen lukivaikeusriski (Maurer et al., 2009).

Ristiriita aiempaan tutkimusnäyttöön voi selittyä lisäksi käytettyjen ääniärsykkeiden eroavaisuuksilla. Esimerkiksi Guttorm ym. (2003) tarkastelivat sekä synteettisten että luonnollisten puheäänten konsonanttien erottelukykyä ja havaitsivat eron riski- ja verrokkiryhmän välillä ainoastaan synteettisille puheäänille syntyneissä vasteissa. Sen sijaan luonnollisille puheäänille syntyneissä vasteissa ei tämän tutkimuksen tapaan havaittu eroa ryhmien välillä. Kirjoittajat esittivät, että luonnolliset puheäänit sisältävät synteettisiin ääniin nähden rikkaampaa, mutta puheen havaitsemisen kannalta epärelevanttia akustista vaihtelua. Tämä vaihtelu saattoi mittauksessa auttaa riskiryhmän lapsia kompensoimaan erityistä puheen piirteiden havaitsemiseen liittyvää vaikeutta, joka ilmeni synteettisten ärsykkeiden kohdalla. Tämän tutkimuksen kanssa samoja luonnollisia puheärsykeitä hyödyntäneessä tutkimuksessa ryhmäero MMR-komponenteissa kuitenkin havaittiin vastasyntyneillä (Thiede ym., 2019). On mahdollista, että kahden vuoden ikään mennessä riskiryhmän lapset ovat

saavuttaneet kehityksessä verrokkiryhmän hermoston kypsymisen ja kielelle altistumisen myötä. Thieden ym. (2019) tuloksiin on lisäksi voinut vaikuttaa se, että riskiryhmän osallistujat oli rajattu vain niihin lapsiin, joiden vanhemmalla oli keskivaikea tai vaikea lukivaikeus, kun taas tässä otoksessa vanhemmalla saattoi olla myös lievä tai kompensoitunut lukivaikeus. Kompensoitunut lukivaikeus periytyy vanhemmalta lapselle harvemmin kuin aikuisiällä diagnosoitava lukivaikeus (Gilger ym., 1996), joten tämän tutkimuksen otoksessa lukivaikeus kehittyy odotettavasti harvemmalle kuin Thieden ym. (2019) otoksessa. Lisäksi aiemmin on havaittu, että epätyypillinen MMR varhaislapsuudessa voi liittyä ainoastaan niihin riskiryhmän lapsiin, joilla myöhemmin ilmenee lukemisen vaikeutta (van Zuijen ym., 2012). Myöhempi seuranta voi osoittaa, ilmeneekö tässäkin aineistossa MMR-komponenttien epätyypillisyyttä niillä riskiryhmän lapsilla, joille lukivaikeus myöhemmin kehittyy.

4.2 MMR-komponenttien yhteys kielellisiin taitoihin

Tulokset osoittivat, että sekä puheen ymmärtämisen että tuoton vaihtelua kahden vuoden iässä voidaan selittää MMR-komponenteilla paremmin kuin yksistään lapsen taustaan ja yleiseen taitotasoon liittyvillä muuttujilla. Myös aiemmin konsonantin erotteluun liittyvän MMR-komponentin on havaittu olevan yhteydessä puheen ymmärtämiseen 2.5-vuotiailla lapsilla, kun taas yhteyttä puheen tuottoon ei havaittu (Guttorm ym., 2005). Muodostetussa mallissa MMR oikealla aivopuoliskolla oli käänteisessä yhteydessä puheen ymmärtämiseen niin, että positiivisempi eli kypsymättömämpi MMR oli yhteydessä heikompaan suoriutumiseen ja negatiivisempi kypsempi MMR puolestaan vahvempaan suoriutumiseen. Kyseisessä tutkimuksessa MMR-komponentit mitattiin vastasyntyneenä ja määritettiin eri menetelmin kuin tässä pro gradu -tutkimuksessa, mutta tulokset ovat tästä huolimatta samansuuntaisia: Myös tässä tutkimuksessa saatiin viitteitä siitä, että negatiivisempi MMR on yhteydessä vahvempiin ja positiivisempi puolestaan heikompiin taitoihin. Kiinnostava havainto on myös se, että erityisesti puheen foneemisiin muutoksiin liittyvät MMR-komponentit näyttävät selittävän kielellisiä taitoja äänenkorkeuden muutoksen sijaan. Tulos voi viitata siihen, että puheen ymmärtämisen ja tuoton kehityksen kannalta nimenomaan foneemisten, semanttista merkitystä välittävien puheen piirteiden havaitseminen on keskeisempää kuin äänenkorkeuden havaitseminen.

Toisin kuin Guttormin ym. (2005) tutkimuksessa, tässä tutkimuksessa tarkasteltiin myös ryhmän ja MMR-komponenttien yhdysvaikutuksia sen selvittämiseksi, ovatko yhteydet MMR-komponenttien ja kielellisten taitojen välillä molemmissa ryhmissä samanlaiset. Siinä missä

verrokkiryhmässä havaittiin yhteys vokaalin keston erottelun ja puheen ymmärtämisen ja tuoton välillä, riskiryhmässä havaittiin yhteys vokaalin erottelun ja tuoton välillä. Sekä ryhmävertailujen että herätevasteiden visuaalisen tarkastelun perusteella MMR-komponentit molemmissa ryhmissä olivat kuitenkin huomattavan samankaltaiset ja lisäksi lapsia, joilla oli joko positiivinen tai negatiivinen MMR, oli molemmissa ryhmissä likimain yhtä monta. Herätevasteiden keskiarvoja tarkastelemalla ei siis saada viitteitä siitä, miksi yhteydet MMR-komponenttien ja kielellisten taitojen välillä näyttäytyvät ryhmissä eri tavoin. Tulosten perusteella tulevissa tutkimuksissa on kuitenkin syytä huomioda, että puheen piirteiden erottelun ja kielellisten taitojen yhteydet eivät välttämättä näyttäydy samoin lapsilla, joilla on tai ei ole perhetaustaista lukivaikeusriskiä.

Vaikka muiden kielellisten taitojen osalta yhteys MMR-komponentteihin havaittiin, niin MMR-komponentit eivät selittäneet vaihtelua vanhemman arvioon perustuvassa sanavaraston laajuudessa. Tämä voi osin selittyä sillä, että kontrolloitavat tekijät yksin selittivät vaihtelusta niin suuren osan, ettei selitettävää vaihtelua jäänyt riittävästi jäljelle. Toisin kuin muissa kielellisissä muuttujissa, sanavaraston laajuudessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ryhmäero. Lisäksi sekä sanavaraston että kontrolloitavana tekijänä hyödynnetyn yleisen taitotason arviointi perustui tässä tutkimuksessa vanhemman raporttoimaan tietoon, mikä voi korostaa muuttujien välistä yhteyttä. Luultavasti tästä syystä nämä kaksi kontrolloitavaa tekijää selittivät huomattavan osuuden sanavaraston, mutta ei puheen ymmärtämisen tai tuoton vaihtelusta. Tulosten perusteella on kuitenkin mahdollista, että puheenpiirteiden havaitseminen ei vaikuta vahvasti sanavaraston karttumiseen, vaan korkeamman tason kielellisen ymmärtämisen ja tuoton taitojen kehitykseen. Se, että sanavaraston laajuus oli riskiryhmässä pienempi kuin verrokkiryhmässä, on linjassa aiemman havainnon kanssa, jonka mukaan perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin liittyy yleisen kielellisen kehityksen lievää viivettä (Torppa ym., 2010).

Vaikka yhteys MMR-komponenttien ja kielellisten taitojen välillä havaittiinkin, ei käytetyn poikkileikkausasetelman vuoksi voida tehdä päätelmiä syy-seuraus-suhteesta.

Seurantahankkeen myöhempien vaiheiden selvittäväksi jää, ennustavatko vauvaiässä tai varhaislapsuudessa mitatut MMR-komponentit kielen kehityksen etenemistä. Niin ikään myöhemmässä seurantavaiheessa on keskeistä selvittää, selittävätkö MMR-komponentit paitsi puheen ymmärtämisen ja tuoton, myös fonologisen prosessoinnin tai lukemisen ja kirjoittamisen taitoja, ja ovatko yhteydet kielellisten taitojen eri osa-alueiden kohdalla

erilaisia. Vaikka lukivaikeuteen onkin liitetty yleistä kielellisten taitojen lievää kehitysviivettä (Torppa ym., 2010) ja tässäkin tutkimuksessa havaittiin riskiryhmässä verrokkiryhmään nähden suppeampi sanavarasto, ennustavat fonologisen prosessoinnin taidot myöhempää lukutaitoa kuitenkin yleisiä kielellisiä taitoja vahvemmin (Ekins & Schneider, 2006). Puheen ymmärtäminen, tuotto (Ekins & Schneider, 2006) ja sanavarasto (van Viersen ym., 2018) sen sijaan selittävät vahvemmin luetun ymmärtämistä edistyneemmillä lukijoilla, joten riskiryhmän hitaampi sanavaraston kehitys voisi myöhemmässä seurannassa näyttäytyä luetun ymmärtämisen haasteina. Aiemmin onkin havaittu, että luetun nopeus ja tarkkuus on yhtä heikkoa, mutta luetun ymmärtäminen heikompaa lapsilla, joilla on pelkän lukivaikeuden sijaan myös varhaisen kielen kehityksen viivettä (Chilosi ym., 2009).

4.3 Tutkimuksen luotettavuus ja heikkoudet

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin liittyviä MMR-komponentteja ja varhaisia kielellisiä taitoja. Riskiryhmän osallistujat valittiin huolellisesti joko vanhemman anamnestisten tietojen tai lukitaitojen arvioinnin perusteella. Osallistujien taustoissa oli kuitenkin huomattavaa vaihtelua vanhemman lukivaikeuden vaikeusasteessa. Perhetaustainen riski on eriasteinen niillä lapsilla, joiden vanhemmalla on aikuisiällä diagnosoitava lukivaikeus ja niillä lapsilla, joiden vanhemman lukivaikeus on aikuisikään mennessä kompensoitunut (Gilger ym., 1996). Tästä syystä myöhemmissä tutkimuksissa olisi suositeltavaa joko määritellä perhetaustainen riski tarkkarajaisemmin tai kerätä suurempi aineisto niin, että eri riskiryhmien keskinäinen vertailu olisi mahdollista.

Tutkittaessa perhetaustaisessa riskissä olevia lapsia on huomattava, että lukivaikeus todetaan myöhemmin vain osalla riskiryhmän lapsista (Snowling, Gallagher & Frith, 2003). On mahdollista, että perhetaustaiseen riskiin liittyy samanlaisia altistavia tekijöitä sekä lapsilla, joille lukivaikeus kehittyy, että lapsilla, joilla nämä heikkoudet kompensoituvat niin, ettei lukivaikeutta myöhemmin ilmene. Toisaalta lapset, joille lukivaikeus myöhemmin kehittyy, voivat oleellisesti erota varhaiselta kehitykseltään niistä lapsista, joilla lukivaikeutta ei perhetaustaisesta riskistä huolimatta ilmene. On siis mahdollista, että pelkän perhetaustaisen riskin perusteella valikoitunut riskiryhmä ei eroa verrokkiryhmästä yhtä selkeästi kuin se osaryhmä, jolle lukivaikeus myöhemmin kehittyy. Perhetaustaisen riskin tutkiminen ennen diagnoosin toteamista vaatisi suuremman otoksen kuin tässä tutkimuksessa, jonka tilastollinen voima oli riittävä vain yli yhden keskihajonnan suuruisen eron havaitsemiseen.

Näihin tutkimuskysymyksiin onkin syytä palata myöhemmässä seurantahankkeen vaiheessa, kun riskiryhmä voidaan jakaa kahteen ryhmään lukivaikeuden esiintymisen perusteella.

Tyyppin I virheen todennäköisyys kontrolloitiin ryhmävertailuissa hyödyntämällä monimuuttuja-analyysiä sekä rajaamalla analyysien määrää tarkastelemalla ainoastaan MMR-komponenttien keskiarvoistettua voimakkuutta. Keskiarvoistettu voimakkuus valittiin tarkasteluun siksi, että se kuvaa vasteen komponentteja luotettavammin ja kattavammin kuin komponentin huippupisteen voimakkuus tai ajoitus (Luck, 2014a). MMR-komponenttien useamman ominaisuuden tarkastelulla olisi kuitenkin saatu kattavampi kuva mahdollisista ryhmäeroista esimerkiksi vasteen ajoituksessa, kestossa tai päänpinnan jakaumassa. EEG-aineiston alkukäsittelyssä ja MMR-komponenttien määrittelyssä pyrittiin objektiivisuuteen ja suuri osa käsittelystä oli automatisoitua, mutta aineiston käsittely sisälsi myös manuaalisesti toteutettavia vaiheita, joihin liittyy aina subjektiivisen arviointiin liittyvää virhevaihtelua. Tämä vaikutus pyrittiin minimoimaan huolellisesti määritellyillä kriteereillä sekä aineiston käsittelijöiden tiiviillä yhteistyöllä. MMR-komponenttien aikaikkunat rajattiin ryhmäkohtaisten keskiarvokäyrien visuaalisen tarkastelun perusteella. Tämän seurauksena osalla osallistujista MMR-komponentin arvo oli lähellä nollaa, mikä voi viitata siihen, että komponentin ajoituksessa on suurta yksilökohtaista vaihtelua. Signaali-kohina-suhdetta pyrittiin parantamaan huolellisella alkukäsittelyllä sekä hyödyntämällä kanava-alueen keskiarvoa yksittäisten kanavien sijaan, mutta tästä huolimatta yksilökohtaisissa käyrissä satunnaisvaihtelun määrä oli niin suuri, ettei komponentteja olisi voitu määrittää jokaiselle osallistujalle yksitellen. Jatkossa komponenttien määrittelyssä voitaisiin hyödyntää myös objektiivisempia menetelmiä, kuten aineiston vaihtelua parhaiten selittävien ajanjaksojen määrittämistä pääkomponenttianalyysin avulla Guttormin ym. (2003) tapaan.

Hyödynnetyt puheärsykkeet olivat luonnollisia suomenkielisiä epäsanvoja. Luonnollisten puheärsykkeiden hyödyntäminen antaa synteettisiä puheääniä ekologisesti validimpaa tietoa, mutta ne voivat sisältää sellaista akustista vaihtelua, jonka avulla puheen piirteiden havaitsemisen vaikeus on mahdollista kompensoida EEG-koeasetelmassa (Guttorm ym., 2003). Suomenkielisiä epäsanvoja hyödyntämällä saadaan arvokasta tietoa nimenomaan suomenkielisten lasten kyvystä erotella äidinkieltensä piirteitä, mikä on tärkeää, sillä lukivaikeus ilmenee eri tavoin eri kielissä (Wimmer ym., 2000; Wimmer & Schurz, 2010). On kuitenkin huomattava, etteivät tämän tutkimuksen tulokset foneemisten piirteiden

erottelusta välttämättä ole yleistettävissä sellaisiin kieliryhmiin, joiden äidinkielessä vokaalikategoriat tai vokaalin pituus foneemisena muutoksena eroavat suomen kielestä.

Pienten lasten taitojen arviointiin liittyy aikuisten arviointia enemmän itsesäätelystä, tarkkaavuudesta, vireystilasta ja motivaatiosta johtuvia virhevaihtelun lähteitä. Myös arvioinnin toteuttavien tutkijoiden välillä on mahdollisesti subjektiivisia eroja tehtävien esittämisessä ja tulkinnessa, ja tässä tutkimuksessa havaittiinkin tutkijoiden välillä systemaattinen ero Kokoamis-tehtävässä. Tutkijoiden välisiä käytäntöjä pyrittiin huolellisesti yhtenäistämään tutkijoiden välisellä tiiviillä yhteistyöllä sekä noudattamalla arviointimenetelmien vakiintuneita käsikirjoja. Tutkijoiden välisiä mahdollisia eroja pyrittiin myös kontrolloimaan tasapainottamalla ryhmät tutkijoiden välillä, mutta tasapainotus ei käytännön syistä johtuen täysin onnistunut. Jotta tutkijan odotukset eivät vaikuttaisi arviointiin, pyrittiin tutkijat sokkouttamaan lapsen ryhmästatuksen suhteen. Sokkoutus onnistui lähes kaikkien osallistujien kohdalla.

4.4 Johtopäätökset

Tämä tutkimus osoitti, että kaksivuotiaat suomenkieliset lapset kykenevät erottelemaan äidinkielelle tyypillisiä puheenpiirteitä automaattisen tiedonkäsittelyn tasolla MMR-komponenttien ilmentämänä. Eroa puheäänten erottelussa ei havaittu riskiryhmän ja verrokkiryhmän välillä. Foneemisten eli semanttista merkitystä välittävien puheen piirteiden muutos synnytti muodoltaan kypsymättömämmän vasteen kuin äänenkorkeuden muutos. MMR-komponentit foneemisille muutoksille selittivät lisäksi varhaisia kielellisiä taitoja toisin kuin äänenkorkeuden muutoksen MMR-komponentti. Negatiivisempi, kypsempi MMR oli yhteydessä parempiin taitoihin, kun taas positiivisempi, kypsymättömämpi MMR oli yhteydessä heikompiin taitoihin. MMR-komponenttien ja kielellisten taitojen yhteys ei ollut samanlainen riski- ja verrokkiryhmässä, mikä on syytä huomioida tulevilla tutkimuksilla. Jatkossa on tärkeää selvittää, liittyykö perhetaustaiseen lukivaikeusriskiin varhaislapsuudessa puheäänten erottelun poikkeavuutta MMR-komponenttien voimakkuuden sijaan niiden ajoituksessa tai päänpinnan jakaumassa tai myöhemmissä tiedonkäsittelyn vaiheissa. Lisäksi seuraamalla lasten kehitystä kouluikään asti voidaan selvittää, selittääkö puheäänten erottelu varhaislapsuudessa paitsi puheen ymmärtämistä ja tuottoa, myös myöhempiä fonologisen prosessoinnin, lukemisen ja kirjoittamisen taitoja.

Lähteet

- Baldeweg, T., Richardson, A., Watkins, S., Foale, C. & Gruzelier, J. (1999). Impaired auditory frequency discrimination in dyslexia detected with mismatch evoked potentials. *Annals of Neurology*, 45, 495–503. doi:10.1002/1531-8249(199904)45:4<495::AID-ANA11>3.0.CO;2-M
- Bayley, N. (2008). *Bayley Scales of Infant and Toddler Development –käsikirja* (3. laitos). Helsinki: Hakapaino OY. (Alkuperäinen teos julkaistu 2006)
- Bishop, D. & Snowling, M. J. (2004). Developmental Dyslexia and Specific Language Impairment: Same or Different? *Psychological Bulletin*, 130, 858–886. doi:10.1037/0033-2909.130.6.858
- Cheour, M., Leppänen, P. & Kraus, N. (2000). Mismatch negativity (MMN) as a tool for investigating auditory discrimination and sensory memory in infants and children. *Clinical Neurophysiology*, 111, 4–16. doi:10.1016/S1388-2457(99)00191-1
- Chilosi, A. M., Brizzolara, D., Lami, L., Pizzoli, C., Gasperini, F., Pecini, C., ... Zoccolotti, P. (2009). Reading and Spelling Disabilities in Children with and Without a History of Early Language Delay: A Neuropsychological and Linguistic Study. *Child Neuropsychology*, 15, 582–604. doi:10.1080/09297040902927614
- Chobert, J., François, C., Habib, M. & Besson, M. (2012). Deficit in the preattentive processing of syllabic duration and VOT in children with dyslexia. *Neuropsychologia*, 50, 2044–2055. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.05.004
- Corbera, S., Escera, C. & Artigas, J. (2006). Impaired duration mismatch negativity in developmental dyslexia. *NeuroReport*, 17, 1051–1055. doi:10.1097/01.wnr.0000221846.43126.a6
- Dehaene-Lambertz, G. & Gliga, T. (2004). Common Neural Basis for Phoneme Processing in Infants and Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1375–1387. doi:10.1162/0898929042304714
- Eckert, M. (2004). Neuroanatomical markers for dyslexia: A review of dyslexia structural imaging studies. *Neuroscientist*, 10, 362–371. doi:10.1177/1073858404263596

- Edwards, S., Fletcher, P., Garman, M., Hughes, A., Letts, C., Sinka, I. (2001). *Reynellin kielellisen kehityksen testi*. Helsinki: Psykologien Kustannus Oy. (Alkuperäinen teos julkaistu 1997)
- Ekins, E. & Schneider, P. (2006). Predicting reading abilities from oral language skills: A critical review of the literature. *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 30, 26–36.
- Friedrich, M., Herold, B. & Friederici, A. D. (2009). ERP correlates of processing native and non-native language word stress in infants with different language outcomes. *Cortex*, 45, 662–676. doi:10.1016/j.cortex.2008.06.014
- Garrido, M. I., Kilner, J. M., Stephan, K. E., & Friston, K. J. (2009). The mismatch negativity: A review of underlying mechanisms. *Clinical Neurophysiology*, 120, 453–463. doi:10.1016/j.clinph.2008.11.029
- Gilger, J. W., Hanebuth, E., Smith, S. D. & Pennington, B. F. (1996). Differential risk for developmental reading disorders in the offspring of compensated versus noncompensated parents. *Reading and Writing*, 8, 407–417. doi:10.1007/BF00404002
- Guttorm, T., Leppänen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Eklund, K. M. & Lyytinen, H. J. (2010). Newborn Event-Related Potentials Predict Poorer Pre-Reading Skills in Children at Risk for Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 43, 391–401. doi:10.1177/0022219409345005
- Guttorm, T., Leppänen, P. H. T., Poikkeus, A., Eklund, K. M., Lyytinen, P. & Lyytinen, H. (2005). Brain Event-Related Potentials (ERPs) Measured at Birth Predict Later Language Development in Children with and Without Familial Risk for Dyslexia. *Cortex*, 41, 291–303. doi:10.1016/S0010-9452(08)70267-3
- Guttorm, T., Leppänen, P. H. T., Richardson, U. & Lyytinen, H. (2001). Event-Related Potentials and Consonant Differentiation in Newborns with Familial Risk for Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 34, 534–544. doi:10.1177/002221940103400606
- Guttorm, T., Leppänen, P. H. T., Tolvanen, A. & Lyytinen, H. (2003). Event-related potentials in newborns with and without familial risk for dyslexia: principal component analysis reveals differences between the groups. *Journal of Neural Transmission*, 110, 1059–1074. doi:10.1007/s00702-003-0014-x

- Halliday, L. F., Barry, J. G., Hardiman, M. J. & Bishop, D. V. (2014). Late, not early mismatch responses to changes in frequency are reduced or deviant in children with dyslexia: an event-related potential study. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 6, 21. doi:10.1186/1866-1955-6-21
- Huttunen-Scott, T., Kaartinen, J., Tolvanen, A. & Lyytinen, H. (2008). Mismatch negativity (MMN) elicited by duration deviations in children with reading disorder, attention deficit or both. *International Journal of Psychophysiology*, 69, 69–77. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.03.002
- Huttunen, T., Halonen, A., Kaartinen, J. & Lyytinen, H. (2007). Does Mismatch Negativity Show Differences in Reading-Disabled Children Compared to Normal Children and Children with Attention Deficit? *Developmental Neuropsychology*, 31, 453–470. doi:10.1080/87565640701229656
- Kujala, T. (2007). The role of early auditory discrimination deficits in language disorders. *Journal of Psychophysiology*, 21, 239–250. doi:10.1027/0269-8803.21.34.239
- Kujala, T., Belitz, S., Tervaniemi, M. & Näätänen, R. (2003). Auditory sensory memory disorder in dyslexic adults as indexed by the mismatch negativity. *European Journal of Neuroscience*, 17, 1323–1327. doi:10.1046/j.1460-9568.2003.02559.x
- Kujala, T., Lovio, R., Lepistö, T., Laasonen, M. & Näätänen, R. (2006). Evaluation of multi-attribute auditory discrimination in dyslexia with the mismatch negativity. *Clinical Neurophysiology*, 117, 885–893. doi:10.1016/j.clinph.2006.01.002
- Kujala, T., Myllyviita, K., Tervaniemi, M., Alho, K., Kallio, J. & Näätänen, R. (2000). Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. *Psychophysiology*, 37, 262–266. doi:10.1111/1469-8986.3720262
- Kujala, T., Tervaniemi, M. & Schröger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: Theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, 74, 1–19. doi:10.1016/j.biopsycho.2006.06.001
- Kushnerenko, E. V., Van den Bergh, B. R. H. & Winkler, I. (2013). Separating acoustic deviance from novelty during the first year of life: A review of event-related potential evidence. *Frontiers in Psychology*, 4, 1–16. doi:10.3389/fpsyg.2013.00595

- Lachmann, T., Berti, S., Kujala, T. & Schröger, E. (2005). Diagnostic subgroups of developmental dyslexia have different deficits in neural processing of tones and phonemes. *International Journal of Psychophysiology*, 56, 105–120. doi:10.1016/j.ijpsycho.2004.11.005
- Landerl, K. & Moll, K. (2010). Comorbidity of learning disorders: Prevalence and familial transmission. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 51, 287–294. doi:10.1111/j.1469-7610.2009.02164.x
- Leppänen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K., Eklund, K. M., Guttorm, T. K., Lohvansuu, K., ... Lyytinen, H. (2010). Newborn brain event-related potentials revealing atypical processing of sound frequency and the subsequent association with later literacy skills in children with familial dyslexia. *Cortex*, 46, 1362–1376. doi:10.1016/j.cortex.2010.06.003
- Luck, S. J. (2014a). A closer look at ERPs and ERP components. In *An introduction to the event-related potential technique* (2. laitos, s. 35–70). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Luck, S. J. (2014b). Baseline Correction, Averaging, and Time – Frequency Analysis. In *Introduction to the Event-Related Potential Technique* (2. laitos, s. 249–282). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Lyytinen, P. (1999). *Varhaisen kommunikaation ja kielen kehityksen arviointimenetelmä*. Jyväskylä: Yliopistopaino.
- Lyytinen, H., Ahonen, T., Eklund, K., Guttorm, T. K., Laakso, M.-L., Leinonen, S., ... Viholainen, H. (2001). Developmental Pathways of Children With and Without Familial Risk for Dyslexia During the First Years of Life. *Developmental Neuropsychology*, 20, 535–554. doi:10.1207/S15326942DN2002_5
- Lyytinen, H., Ahonen, T., Eklund, K., Guttorm, T., Kulju, P., Laakso, M. L., ... Viholainen, H. (2004). Early development of children at familial risk for dyslexia - Follow-up from birth to school age. *Dyslexia*, 10, 146–178. doi:10.1002/dys.274
- Maurer, U., Bucher, K., Brem, S., Benz, R., Kranz, F., Schulz, E., ... Brandeis, D. (2009). Neurophysiology in Preschool Improves Behavioral Prediction of Reading Ability Throughout Primary School. *Biological Psychiatry*, 66, 341–348. doi:10.1016/j.biopsycho.2009.02.031

- Moll, K., Ramus, F., Bartling, J., Bruder, J., Kunze, S., Neuhoff, N., ... Landerl, K. (2014). Cognitive mechanisms underlying reading and spelling development in five European orthographies. *Learning and Instruction, 29*, 65–77.
doi:10.1016/j.learninstruc.2013.09.003
- Morr, M. L., Shafer, V. L., Kreuzer, J. A. & Kurtzberg, D. (2002). Maturation of mismatch negativity in typically developing infants and preschool children. *Ear and Hearing, 23*, 118–136. doi:10.1097/00003446-200204000-00005
- Näätänen, R., Jacobsen, T. & Winkler, I. (2005). Memory-based or afferent processes in mismatch negativity (MMN): A review of the evidence. *Psychophysiology, 42*, 25–32.
doi:10.1111/j.1469-8986.2005.00256.x
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T. & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology, 118*, 2544–2590. doi:10.1016/j.clinph.2007.04.026
- Neuhoff, N., Bruder, J., Bartling, J., Warnke, A., Remschmidt, H., Müller-Myhsok, B. & Schulte-Körne, G. (2012). Evidence for the Late MMN as a Neurophysiological Endophenotype for Dyslexia. *PLoS ONE, 7*, e34909. doi:10.1371/journal.pone.0034909
- Norton, E. S. & Wolf, M. (2012). Rapid Automatized Naming (RAN) and Reading Fluency: Implications for Understanding and Treatment of Reading Disabilities. *Annual Review of Psychology, 63*, 427–452. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100431
- Pakarinen, S., Sokka, L., Leinikka, M., Henelius, A., Korpela, J. & Huotilainen, M. (2014). Fast determination of MMN and P3a responses to linguistically and emotionally relevant changes in pseudoword stimuli. *Neuroscience Letters, 577*, 28–33.
doi:10.1016/j.neulet.2014.06.004
- Paquette, N., Vannasing, P., Tremblay, J., Lefebvre, F., Roy, M.-S., McKerral, M., ... Gallagher, A. (2015). Early electrophysiological markers of atypical language processing in prematurely born infants. *Neuropsychologia, 79*, 21–32.
doi:10.1016/j.neuropsychologia.2015.10.021

- Partanen, E., Kujala, T., Näätänen, R., Liitola, A., Sambeth, A. & Huotilainen, M. (2013). Learning-induced neural plasticity of speech processing before birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 15145–15150. doi:10.1073/pnas.1302159110
- Partanen, E., Pakarinen, S., Kujala, T. & Huotilainen, M. (2013). Infants' brain responses for speech sound changes in fast multifeature MMN paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 124, 1578–1585. doi:10.1016/j.clinph.2013.02.014
- Plakas, A., van Zuijen, T., van Leeuwen, T., Thomson, J. M. & van der Leij, A. (2013). Impaired non-speech auditory processing at a pre-reading age is a risk-factor for dyslexia but not a predictor: An ERP study. *Cortex*, 49, 1034–1045. doi:10.1016/j.cortex.2012.02.013
- Puolakanaho, A., Poikkeus, A., Ahonen, T., Tolvanen, A. & Lyytinen, H. (2004). Emerging phonological awareness differentiates children with and without familial risk for dyslexia after controlling for general language skills. *Annals of Dyslexia*, 54, 221–243. doi:10.1007/s11881-004-0011-2
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 212–218. doi:10.1016/S0959-4388(03)00035-7
- Scerri, T. S. & Schulte-Körne, G. (2010). Genetics of developmental dyslexia. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 19, 179–197. doi:10.1007/s00787-009-0081-0
- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J. & Remschmidt, H. (2001). Speech perception deficit in dyslexic adults as measured by mismatch negativity (MMN). *International Journal of Psychophysiology*, 40, 77–87. doi:10.1016/S0167-8760(00)00152-5
- Sebastian, C. & Yasin, I. (2008). Speech versus tone processing in compensated dyslexia: Discrimination and lateralization with a dichotic mismatch negativity (MMN) paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 70, 115–126. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.08.004
- Shafer, V. L., Yu, Y. H. & Datta, H. (2010). Maturation of Speech Discrimination in 4- to 7-Yr-Old Children as Indexed by Event-Related Potential Mismatch Responses. *Ear and Hearing*, 31, 735–745. doi:10.1097/AUD.0b013e3181e5d1a7

- Shafer, V. L., Yu, Y. H. & Datta, H. (2011). The development of English vowel perception in monolingual and bilingual infants: Neurophysiological correlates. In *Journal of Phonetics*, 39, 527-54. doi:10.1016/j.wocn.2010.11.010
- Snowling, M. J., Gallagher, A. & Frith, U. (2003). Family Risk of Dyslexia Is Continuous: Individual Differences in the Precursors of Reading Skill. *Child Development*, 74, 358–373. doi:10.1111/1467-8624.7402003
- Snowling, M. J., Lervåg, A., Nash, H. M. & Hulme, C. (2019). Longitudinal relationships between speech perception, phonological skills and reading in children at high-risk of dyslexia. *Developmental Science*, 22, e12723. doi:10.1111/desc.12723
- Sorokin, A., Alku, P. & Kujala, T. (2010). Change and novelty detection in speech and non-speech sound streams. *Brain Research*, 1327, 77–90. doi:10.1016/j.brainres.2010.02.052
- Thiede, A., Virtala, P., Ala-Kurikka, I., Partanen, E., Huotilainen, M., Mikkola, K., ... Kujala, T. (2019). An extensive pattern of atypical neural speech-sound discrimination in newborns at risk of dyslexia. *Clinical Neurophysiology*, 130, 634–646. doi:10.1016/j.clinph.2019.01.019
- Thierry, G. (2005). The use of event-related potentials in the study of early cognitive development. *Infant and Child Development*, 14, 85–94. doi:10.1002/icd.353
- Torppa, M., Lyytinen, P., Erskine, J., Eklund, K. & Lyytinen, H. (2010). Language development, literacy skills, and predictive connections to reading in finnish children with and without familial risk for dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 43, 308–321. doi:10.1177/0022219410369096
- Trainor, L., McFadden, M., Hodgson, L., Darragh, L., Barlow, J., Matsos, L. & Sonnadara, R. (2003). Changes in auditory cortex and the development of mismatch negativity between 2 and 6 months of age. *International Journal of Psychophysiology*, 51, 5–15. doi:10.1016/S0167-8760(03)00148-X
- Tuomainen, O. T. (2015). Auditory short-term memory trace formation for nonspeech and speech in SLI and dyslexia as indexed by the N100 and mismatch negativity electrophysiological responses. *NeuroReport*, 26, 374–379. doi:10.1097/WNR.0000000000000357

- Vaessen, A., Bertrand, D., Tóth, D., Csépe, V., Faísca, L., Reis, A. & Blomert, L. (2010). Cognitive development of fluent word reading does not qualitatively differ between transparent and opaque orthographies. *Journal of Educational Psychology*, 102, 827–842. doi:10.1037/a0019465
- Vaessen, A., & Blomert, L. (2010). Long-term cognitive dynamics of fluent reading development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105, 213–231. doi:10.1016/j.jecp.2009.11.005
- van Alphen, P., de Bree, E., Gerrits, E., de Jong, J., Wilsenach, C. & Wijnen, F. (2004). Early language development in children with a genetic risk of dyslexia. *Dyslexia*, 10, 265–288. doi:10.1002/dys.272
- van der Leij, A., van Bergen, E., van Zuijen, T., de Jong, P., Maurits, N. & Maassen, B. (2013). Precursors of developmental dyslexia: An overview of the Longitudinal Dutch Dyslexia Programme Study. *Dyslexia*, 19, 191–213. doi:10.1002/dys.1463
- van Leeuwen, T., Been, P., van Herten, M., Zwarts, F., Maassen, B. & van der Leij, A. (2008). Two-month-old infants at risk for dyslexia do not discriminate /bAk/ from /dAk/: A brain-mapping study. *Journal of Neurolinguistics*, 21, 333–348. doi:10.1016/j.jneuroling.2007.07.004
- van Viersen, S., de Bree, E. H., Zee, M., Maassen, B., van der Leij, A. & de Jong, P. F. (2018). Pathways Into Literacy: The Role of Early Oral Language Abilities and Family Risk for Dyslexia. *Psychological Science*, 29, 418–428. doi:10.1177/0956797617736886
- van Zuijen, T. L., Plakas, A., Maassen, B. A. M., Been, P., Maurits, N. M., Krikhaar, E., ... van der Leij, A. (2012). Temporal auditory processing at 17 months of age is associated with preliterate language comprehension and later word reading fluency: An ERP study. *Neuroscience Letters*, 528, 31–35. doi:10.1016/j.neulet.2012.08.058
- van Zuijen, T. L., Plakas, A., Maassen, B. A. M., Maurits, N. M. & van der Leij, A. (2013). Infant ERPs separate children at risk of dyslexia who become good readers from those who become poor readers. *Developmental Science*, 16, 554–563. doi:10.1111/desc.12049

- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J. & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 45, 2–40. doi:10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x
- Wechsler, D. (2009). *WPPSI-III - Wechsler Preschool And Primary Scale Of Intelligence –käsikirja* (3. laitos). Helsinki: Psykologien Kustannus Oy. (Alkuperäinen teos julkaistu 2003)
- Willcutt, E. G. & Pennington, B. F. (2000). Comorbidity of Reading Disability and Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 179–191. doi:10.1177/002221940003300206
- Wimmer, H., Mayringer, H. & Landerl, K. (2000). The double-deficit hypothesis and difficulties in learning to read a regular orthography. *Journal of Educational Psychology*, 92, 668–680. doi:10.1037/0022-0663.92.4.668
- Wimmer, H. & Schurz, M. (2010). Dyslexia in regular orthographies: manifestation and causation. *Dyslexia*, 16, 283–299. doi:10.1002/dys.411
- Wolf, M., O'Rourke, A. G., Gidney, C., Lovett, M., Cirino, P. & Morris, R. (2002). The second deficit: An investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Reading and Writing*, 15, 43–72. doi:10.1023/A:1013816320290
- World Health Organization. (2004). *ICD-10 : international statistical classification of diseases and related health problems: tenth revision* (2. laitos). World Health Organization.